

La Era de los Dinosaurios

VOLUMEN II

DEBATE
ediciones

ATLAS DE LO EXTRAORDINARIO

LA ERA DE LOS DINOSAURIOS

Volumen II

ATLAS DE LO EXTRAORDINARIO

LA ERA DE LOS DINOSAURIOS

Volumen II

Dirección editorial de la serie:
Juan María Martínez
Ángel Lucía.

Coordinación editorial de la serie:
Juan Ramón Azaola
Carlos Ponce.

Dirección técnica de la serie:
Eduardo Peñalba.

Edición: Luis G. Martín, Íñigo Castro, Lourdes Lucía, Derek Elsom.
Fotografía y documentación gráfica: José María Sáenz Almeida, Marta Carranza, Juan García y Nano Cañas.
Diseño: John Bigg, Jonathan Bigg y Zilda Tandy.
Producción: Barry Baker, Janice Storr y Rosanna Scott
Colaboraciones: Iain Nicholson, Andy Lawrence y Antonio García-Olivares.
Versión castellana: Raúl Ramos.

Título original: *Dinosaur!*

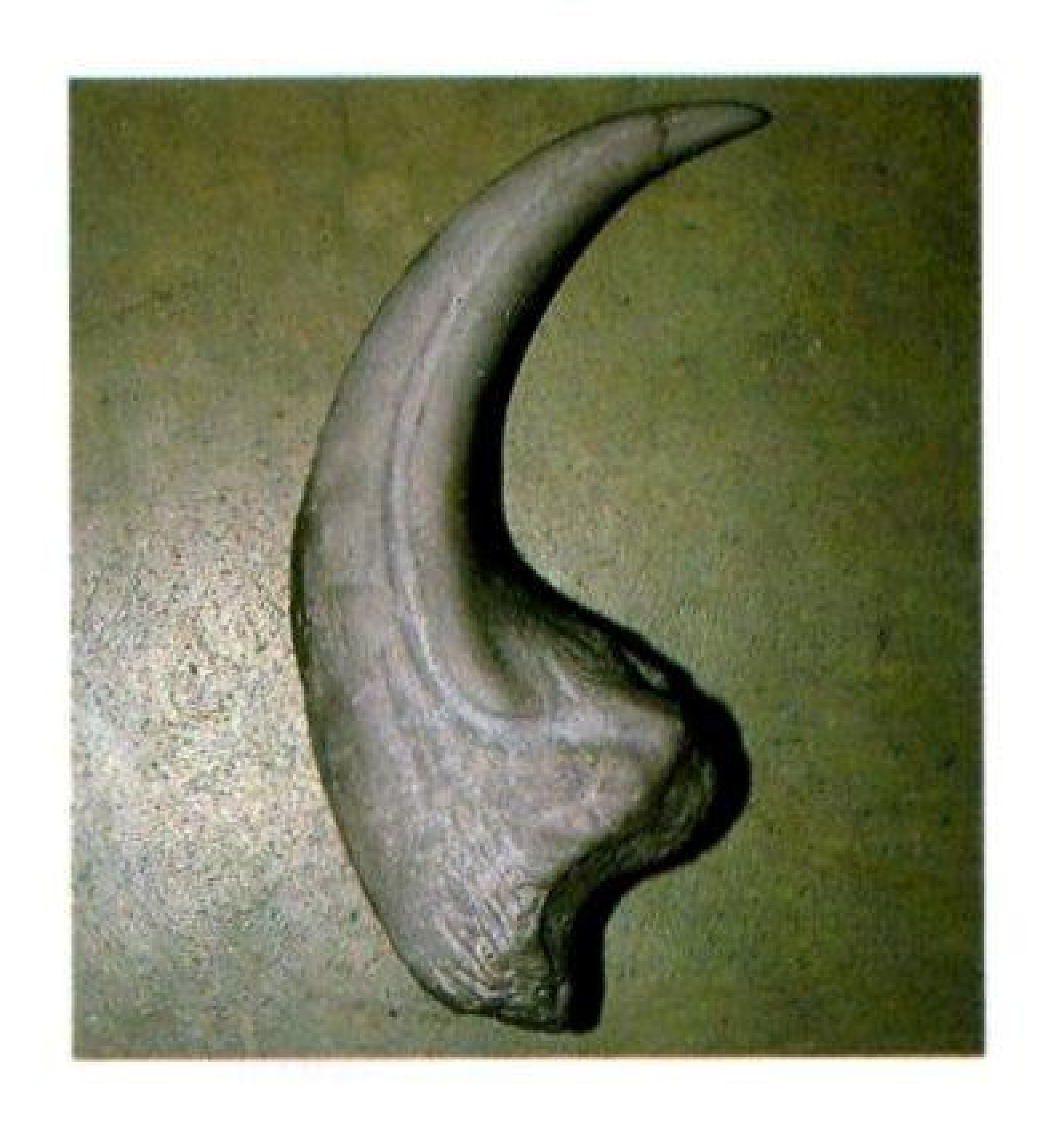
ISBN: 84-7838-328-X (Vol. II)
Depósito legal: M-19223-1993
Portada: Ornithominus

Impreso en diciembre de 1994
Impreso en Gráficas Almudena, Madrid
Impreso en España *(Printed in Spain)*

Sumario
Volumen II

CAPÍTULO QUINTO

ÚLTIMAS NOTICIAS DEL MESOZOICO



EN la actualidad la investigación sobre los dinosaurios es bastante intensa, demasiado para poder resumirla en esta obra. Pero espero al menos ser capaz de dar una idea de la variedad del trabajo que se está desarrollando.

Un factor de crucial importancia para comprender la evolución de las formas de vida en la era Mesozoica es el origen de los dinosaurios, pues determinó en gran medida el rumbo de una serie de grupos de animales diferentes. Varios investigadores han estudiado las rocas del Triásico tardío en diferentes partes del mundo para obtener datos sobre la configuración de los continentes, el medio ambiente, así como la flora y fauna de ese momento, en un intento de recomponer con claridad las circunstancias que llevaron al surgimiento de los dinosaurios y al declive de tantos otros grupos. Esperan encontrar algún factor común que explique por qué los dinosaurios sobrevivieron mientras que otros fracasaron.

Antes de los dinosaurios

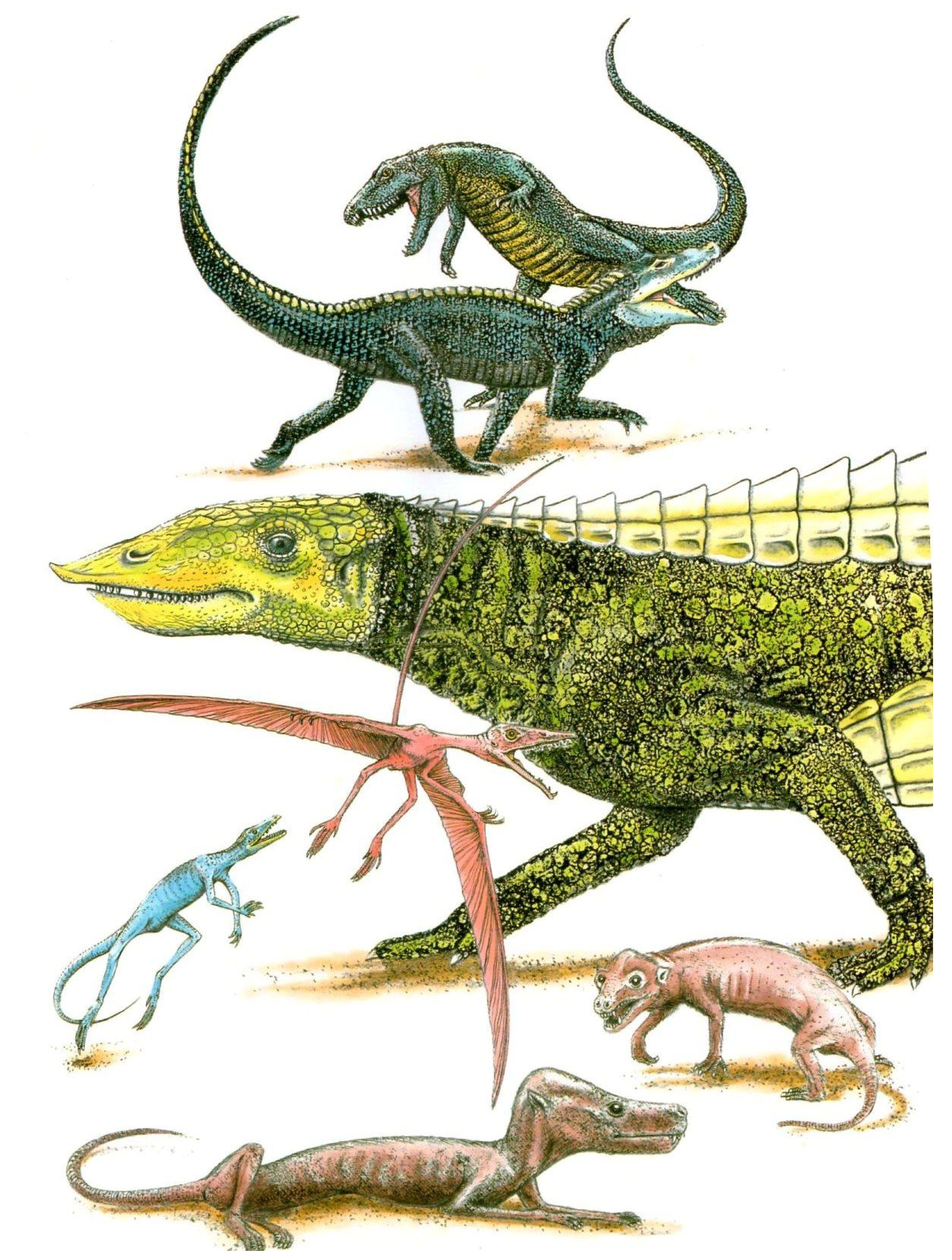


El estudio de la fauna del Triásico medio y tardío en todo el mundo ha descubierto la coexistencia de una enorme variedad de animales. Durante el Triásico medio parece haber vivido una amplia diversidad de reptiles mamíferos, de los cuales la mayoría eran de tamaño medio —entre 0,3 y 1,2 metros de longitud—. Los dicynodontes se caracterizaban por un pico córneo similar al de las tortugas en la parte frontal del morro, además de dos grandes dientes parecidos a colmillos que colgarían de los laterales de la mandíbula superior (su nombre significa «dos dientes de perro»). Aunque no disponían de ningún otro tipo de dientes estos animales eran herbívoros muy eficientes, y cortaban y roían los vegetales con ayuda de sus agudos picos, mandíbulas móviles y músculos de la mandíbula muy poderosos. Estos robustos animales de cuerpo cilíndrico tenían la cola bastante corta, pero las patas eran de longitud media y podían situarlas debajo del cuerpo cuando querían moverse más deprisa. De hecho parecen haber desarrollado un sistema de dos velocidades para mover sus patas, como se describió en el caso de los arcosaurios en el anterior capítulo.

Coetáneos de estas clases eran otros reptiles herbívoros, parecidos a los mamíferos, cuyo cuerpo era algo más frágil. A diferencia de los dicynodontes éstos tenían unos dientes en los carrillos muy desarrollados que les permitían masticar y triturar plantas con excelentes resultados.

Foto superior. *Enormes garras rapaces como estas de la pata del* Allosaurus *desempeñaron un papel importante en las nuevas interpretaciones que surgirían a finales de los años cincuenta y setenta, cuando empezó a considerarse a los dinosaurios criaturas muy activas y dinámicas.*
Foto de la derecha. *La fauna del Triásico medio (de arriba abajo): el* Ticinosuchus, *un arcosaurio típico; el* Kannemeyeria, *un dicynodonte; el cynodonte carnívoro llamado* Cynognathus; *el rhyncosaurio* Scaphonyx *y el* Massetognathus, *un pariente menor del* Cynognathus.





Con el paso del tiempo durante el Triásico los dicynodontes parecían haber descendido en número y variedad en favor de herbívoros provistos de dientes.

Como contrapartida a estos animales, cuya base alimenticia estaba compuesta por plantas, había unos carnívoros conocidos como cynodontes («diente de perro»). Su dentadura y su mandíbula tenían una forma sorprendentemente parecida a la de los perros actuales, de ahí su nombre, que también indica hábitos de depredador. Su cuerpo era delgado, como el de los perros, y sus patas, relativamente largas, les permitían extenderse para andar a rastras o colocarlas debajo del tronco cuando se trataba de correr. No obstante no parecen haber sido capaces de realizar el avance a saltos como nuestros perros, pues su espina dorsal era sólo capaz de articularse de lado a lado, y no de abajo arriba: al correr habrían avanzado como los patos.

Junto a estos grupos están los arcosaurios, entre los que debían de figurar los auténticos antepasados de los dinosaurios. Durante el Triásico medio muchas de estas criaturas eran bastante grandes, con una longitud de incluso 4,2 metros. La mayoría tenía el aspecto de cocodrilos de largas patas y nariz chata y respingona; el *Ticinosuchus* es un representante. Pero, a diferencia de los cocodrilos, parece que estas criaturas eran completamente terrestres, por lo que habrían desarrollado patas con gran capacidad de zancada. Eran de cráneo ancho, con mandíbulas provistas de hileras de dientes finos en forma de cuchillos. Estos animales mantenían su cuerpo muy erguido, según se deduce del limitado margen de flexibilidad que permitirían las hileras de vértebras que recorren la espalda, de modo que, cuando corrían, el cuerpo tendería a columpiarse un poco mientras que las piernas se balanceaban de un lado a otro por debajo. Las patas de dos velocidades eran parecidas a las de una de sus presas: los reptiles parecidos a mamíferos, pero seguramente podían recorrer distancias con mayor rapidez por disponer de patas más largas.

Otro grupo que haría su entrada en escena en el Triásico medio es el de los rincosaurios («lagarto con hocico»). Exteriormente parecían dicynodontes, con un cuerpo muy parecido de forma cilíndrica, y también eran herbívoros. La cabeza era su característica más llamativa: generalmente muy ancha por detrás, con ojos situados en la parte superior y un hocico que apuntaría hacia abajo y se estrecharía en un pico óseo con curiosa forma de gancho. La mandíbula estaba provista de grupos de dientes parecidos a pequeños granos, que formaban una buena superficie sobre la que machacar las plantas que les servían de alimento.

A finales del Triásico los arcosaurios empezaron a hacerse dominantes: carnívoros ágiles como el Ornithosuchus *y el* Saurosuchus *(parte superior), y el* Stagonolepis, *un herbívoro de tamaño medio. Se puede ver al pterosaurio* Eudimorphodon, *perseguido por el diminuto* Lagosuchus, *con aspecto de dinosaurio. Al fondo, los restos de la línea reptil con aspecto de mamífero: el* Oligokyphus *(izquierda) y el* Trithelodon *(derecha).*

A finales del Triásico aparecieron de nuevo grupos completos de animales, mientras que otros se extinguieron. De los vistos hasta ahora los dicynodontes habían desaparecido prácticamente, siendo reemplazados por reptiles herbívoros más pequeños y muy probablemente por los rincosaurios, que abundaron durante un breve periodo de finales del Triásico. Los cynodontes carnívoros siguieron siendo bastante numerosos, pero también evolucionaron para formar clases más pequeñas y ágiles. Los primeros mamíferos auténticos deben de hacer su aparición justo a finales de este periodo; su primera manifestación serían pequeños insectívoros descendientes —parece ser— de los cynodontes más pequeños del Triásico tardío.

Por el contrario, los arcosaurios se diversificaron considerablemente. Los primeros cocodrilos auténticos surgen en esta época, así como otros grupos de arcosaurios con aspecto de cocodrilo conocidos como phytosaurios («lagartos de plantas»), que se diferencian de los primeros por tener las fosas nasales situadas sobre un montículo justo delante de los ojos, y no en la punta del hocico como ocurre con los cocodrilos auténticos. Otro grupo de arcosaurios, cuya historia resulta un misterio, parece haber evolucionado hacia insectívoros más pequeños, probablemente habitantes de los árboles, y que finalmente desarrollarían la capacidad de vuelo; estamos ante los primeros pterosaurios («lagartos provistos de alas»). Es posible que sus orígenes se remonten a una época anterior, pero al vivir en los árboles y ser muy pequeños sus restos rara vez han quedado fosilizados.

En tierra los arcosaurios también produjeron una variedad de formas carnívoras. Algunos eran similares a los animales del Triásico medio, pero más grandes y fuertes; un ejemplo sería el *Saurosuchus.* Otros tenían patas traseras ensanchadas y tendían a correr sobre estas dos, y no a cuatro patas. Aquí se pueden incluir criaturas bastante grandes y de cuerpo pesado, como el *Ornithosuchus.* Pero otros, como el *Lagosuchus,* pertenecían a una variedad de constitución más ligera y en gran medida parecen anticipar el diseño de los primeros dinosaurios. Sus patas son muy largas y se mantenían claramente debajo del cuerpo gran parte del tiempo: eran depredadores bípedos muy ágiles, capacitados para moverse con gran rapidez.

Además de las variedades carnívoras de arcosaurio había también algunos otros nuevos tipos de herbívoro, entre los que se incluyen los aetosaurios («lagartos blindados») como el *Stagonolepis,* que tenían un hocico achatado y dientes que remataban en canto afilado, además de una coraza pesada.

Los auténticos dinosaurios aparecen por primera vez

durante el Triásico tardío. Es en Argentina donde se han encontrado restos de los primeros. Los ejemplos más conocidos son el *Staurikosaurus*, un carnívoro bastante ligero que sólo se ha preservado en parte, y el *Herrerasaurus*, un dinosaurio de peso y tamaño mayor, del que quedan restos parciales de esqueletos. En los últimos años el doctor José Bonaparte, perteneciente al Museo de La Plata de Buenos Aires, ha organizado una serie de expediciones en colaboración con el doctor Paul Sereno, de la Universidad de Chicago, y han explorado varias zonas a la búsqueda de nuevos datos sobre el herrerasaurio tras las que se han descubierto nuevos e importantes hallazgos de esqueletos.

Más avanzado el Triásico, se han encontrado otros tipos de dinosaurios en varias partes del mundo. Estos dan cuenta de que una vez que los dinosaurios hubieron hecho su aparición, comenzaron a diversificarse con gran rapidez. El *Coelophysis* y el *Syntarsus* son dos terópodos frágiles y veloces cuyos restos se han encontrado muy a finales del Triásico y a principios del Jurásico. Pero otro grupo igualmente importante fue el de los primeros sauropodomorfos, cuyos restos se presentan en todas las partes del globo. Están representados tanto por criaturas herbívoras ligeras como el *Massospondylus* y el *Anchisaurus*, conocidos en Norteamérica y en África meridional, y por representantes más grandes y pesados como el *Plateosaurus* de Alemania, el *Lufengosaurus* de China y el *Riojasaurus* de Sudamérica. Resulta curioso, pero estos son los primeros animales del planeta que se alimentaban directamente de las copas de los árboles. Parecen haber abundado, a juzgar por el número de restos que se han encontrado hasta la fecha.

Más propuestas sobre el origen de los dinosaurios

Ya se han discutido las dos teorías de Charig y Bakker sobre el origen de los dinosaurios a finales del Triásico y su victoria subsiguiente. Las primera idea proponía que la mecánica de sus patas les proporcionaba una ventaja de vital importancia sobre sus coetáneos. La segunda era que su fisiología era endotérmica, es decir, eran animales «de sangre caliente», lo que les colocaba al mismo nivel que los mamíferos que aparecieron al mismo tiempo.

Hacer frente a la sequía

La doctora Pamela Robinson, del University College de Londres, propondría una teoría particularmente interesante. El Triásico tardío se considera que fue una época especialmente cálida y árida en todo el planeta. ¿Qué clase de animales son los que mejor se adaptan para sobrevivir en tales condiciones? Si se comparan reptiles y mamíferos —y en eso consiste—, la respuesta clara sería reptiles.

Los reptiles poseen una piel dura y con escamas que les protege de la deshidratación. Segregan poca agua; por ejemplo, en vez de perder gran cantidad de líquido en forma de orina, producen una sustancia pastosa blanquecina parecida a los excrementos de las aves. Al ser ectotérmicos («de sangre fría») —como corresponde sin duda a los reptiles actuales— no gastan energía para mantenerse calientes y por lo tanto comen poco y pueden desarrollarse donde el alimento es escaso y de poca calidad.

Por el contrario, los mamíferos tienen una piel suave y flexible que el agua traspasa con suma facilidad. Pierden mucha agua en la orina (aunque algunos mamíferos modernos de entorno desértico han desarrollado una capacidad para economizar en este aspecto). Además son endotérmicos, lo que presenta dos desventajas principales en un medio cálido y desértico: para mantenerse frescos tienen que sudar o jadear, acciones ambas que producen gran pérdida de agua. Por otra parte, y producto de su endodermia, necesitan grandes cantidades de comida. Todas estas características suponen grandes inconvenientes para los mamíferos que viven en desiertos cálidos, donde escasean el agua y la comida y donde el sol puede causar un rápido aumento de la temperatura y enormes pérdidas de agua.

Supervivientes de una catástrofe

Una propuesta muy diferente es la que ha realizado otro científico británico, el doctor Michael Benton, de la Universidad de Bristol. La desarrolló a partir de teorías de paleobiólogos de América (sobre todo los profesores Stephen Jay Gould, Steven Stanley, Jack Sepkoski y David Raup) que se habían ocupado de la evolución de las almejas y otros grupos marinos. Todas estas teorías giran en torno al hecho de que muchos de los grandes y repentinos cambios de la historia de la vida en la tierra se pueden explicar como resultado de alguna clase de trastorno exterior en el medio ambiente. Análisis detallados de la época de aparición y desaparición de animales en el cambio del Triásico al Jurásico sugirieron a Benton que el éxito de los dinosaurios no se debía a capacidades específicas de adaptación tales como la mecánica de las extremidades o su carácter ectotérmico o endodérmico, sino a catástrofes que causaron la extinción en masa de una amplia variedad de animales terrestres, mientras que los dinosaurios y otros grupos tuvieron la suerte de sobrevivir.

¿Quién lleva razón?

¿Por cuál de las dos teorías decidirse? La respuesta es simple, ninguna. Las teorías basadas en las supuestas características fisiológicas de los dinosaurios no pueden someterse a pruebas lo bastante rigurosas, pues nunca se

podrá saber a ciencia cierta cómo funcionaban los dinosaurios, sus antecesores o sus coetáneos. La teoría de la catástrofe puede ser confirmada o invalidada por sucesivos descubrimientos.

Puede que resulte pesimista, pero no en balde es también beneficiosa. La competitividad de diferentes teorías estimulan el desarrollo intelectual, fundamento de futuros descubrimientos. En estos momentos varios equipos se ocupan precisamente de estas cuestiones, intentando descubrir más sobre la distribución de fósiles en el límite entre el Triásico y el Jurásico en varias partes del mundo.

Parte de ese trabajo se lleva a cabo en Nueva Escocia por los doctores Paul Olsen y Neil Shubin, del Observatorio de Lamont-Doherty. Los resultados son de lo más intrigante. Los doctores y sus colegas han podido registrar la diversidad de animales y plantas cuyos restos fueron arrastrados a un lago. El fondo del lago muestra una fauna variada de primeros dinosaurios y reptiles parecidos a mamíferos junto con toda una gama de otros tipos que evolucionan juntos hasta finales del Triásico. Entonces se produce un cambio abrupto al desaparecer las formas del Triásico y dar paso a una serie mucho menos variada de pequeños dinosaurios que serían los primeros representantes reptiles parecidos a mamíferos de tamaño pequeño y pequeños cocodrilos.

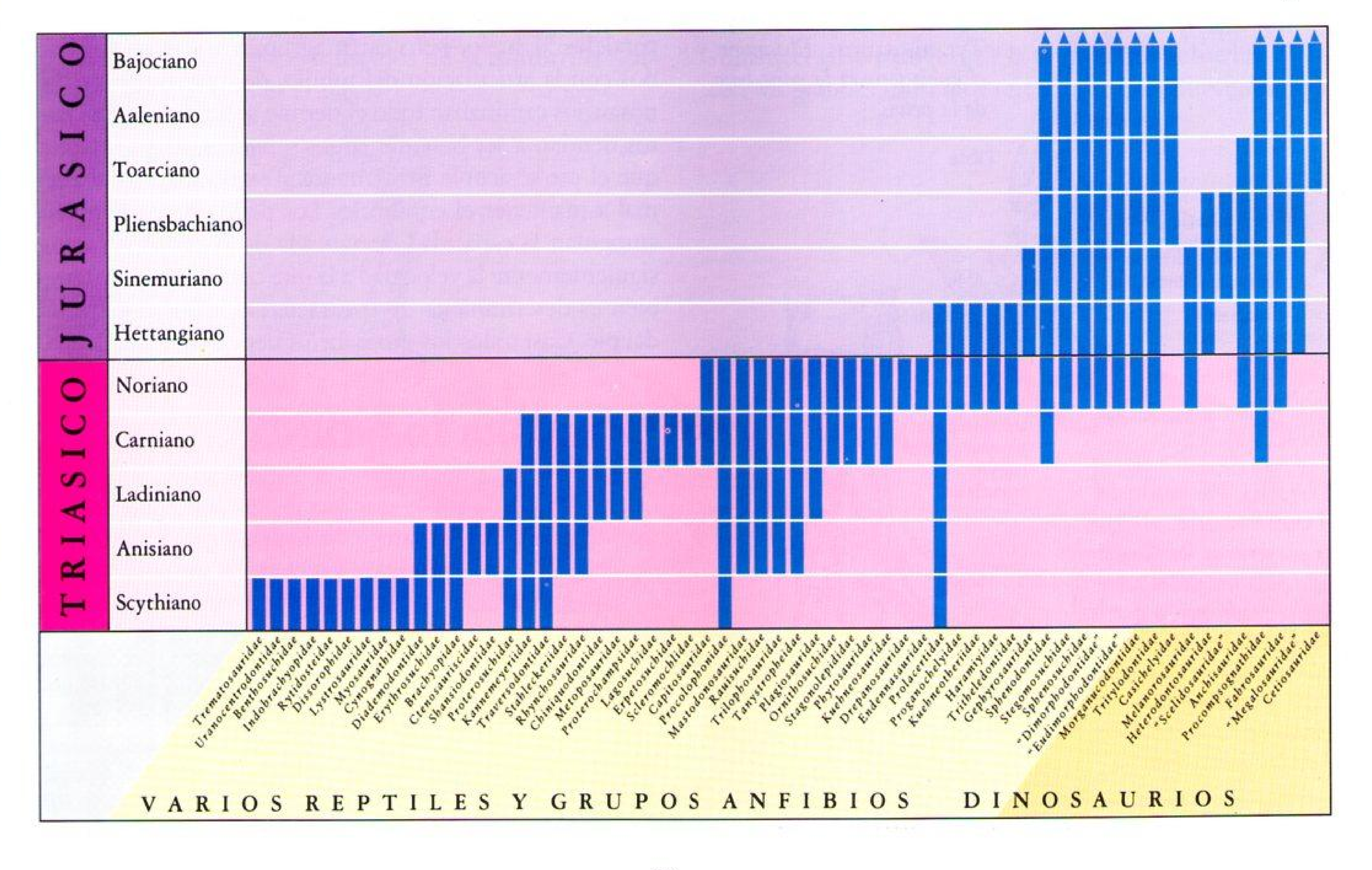
Así pues, al menos en la actual Nueva Escocia, los dinosaurios parecen haber surgido y compartido su mundo con una amplia gama de animales; parte de una comunidad mixta con la ausencia de mamíferos auténticos. Parece haber tenido lugar algún acontecimiento de gran importancia que barrió a la mayoría de los primeros dinosaurios así como a algunos otros grupos, dejando como supervivientes tan sólo a una serie de animales de tamaño pequeño. Si no se trata tan sólo de un fenómeno local, en cuyo caso sólo afectaría a este lago y su entorno, podría traducirse sin duda en un acontecimiento de carácter mundial, y podría ser de extrema importancia. Necesita una explicación que conecte la evolución de comunidades mixtas en las que se incluirían los primeros dinosaurios con una extinción posterior de la que sólo se librarían los animales más pequeños.

La cuestión está lejos de haber sido dilucidada, y queda mucha investigación e interpretación por hacer antes de que se llegue a ningún acuerdo sobre el origen de los dinosaurios.

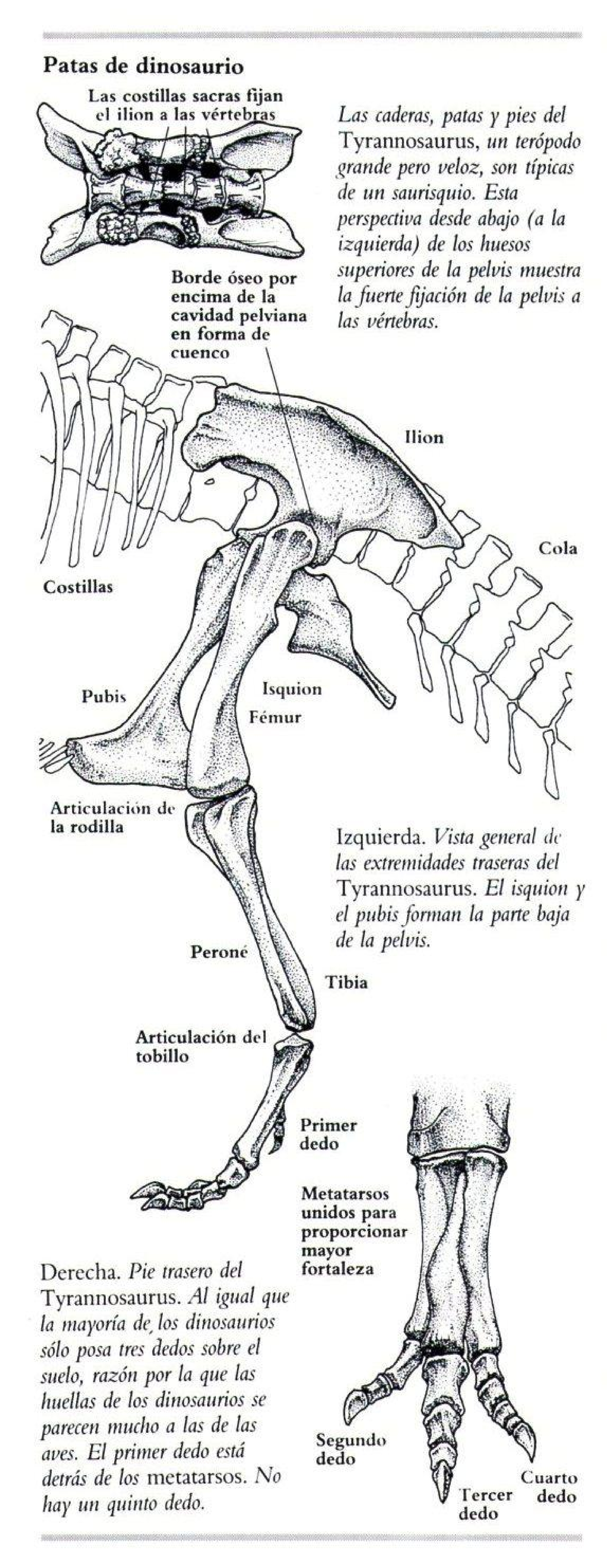
EXAMEN DE LAS PATAS

Como se ha mencionado con anterioridad, una de las características principales de los dinosaurios es que caminan con las patas situadas inmediatamente por debajo del tronco. La forma de pilar de sus patas, parecidas a las de los elefantes, fue una peculiaridad de la que Owen dio cuenta en su momento. Las consecuencias de este dato sobre la forma de todos los huesos y articulaciones de la pata son de interés.

Los huesos de la cadera están unidos de forma rígida



Patas de dinosaurio



Las caderas, patas y pies del Tyrannosaurus, *un terópodo grande pero veloz, son típicas de un saurisquio. Esta perspectiva desde abajo (a la izquierda) de los huesos superiores de la pelvis muestra la fuerte fijación de la pelvis a las vértebras.*

Izquierda. *Vista general de las extremidades traseras del* Tyrannosaurus. *El isquion y el pubis forman la parte baja de la pelvis.*

Derecha. *Pie trasero del* Tyrannosaurus. *Al igual que la mayoría de los dinosaurios sólo posa tres dedos sobre el suelo, razón por la que las huellas de los dinosaurios se parecen mucho a las de las aves. El primer dedo está detrás de los* metatarsos. *No hay un quinto dedo.*

a la espina dorsal gracias a una serie de cuatro o cinco costillas cortas y fuertes a cada lado. La cavidad pelviana forma un recipiente en el que encaja el fémur de forma fija.

El fémur tiene una forma que le permite balancearse por debajo del cuerpo. Su extremo superior, que se ajusta perfectamente a la cavidad pelviana, muestra una curva pronunciada y tiene un tope en forma de bolsa lisa que le permite actuar de pivote y girar hacia adelante y hacia atrás. La longitud del hueso es fundamentalmente recta, aunque en algún que otro lugar aparecen procesos donde se acoplarían los músculos de la pata. En el extremo inferior de este hueso hay un cojinete suave para la articulación de la rodilla, que está diseñada de tal forma que sólo puede moverse hacia adelante y hacia atrás, exactamente como la articulación de la rodilla humana.

La parte inferior de la pata consiste en dos huesos situados lado a lado. Ambos son casi totalmente rectos. Los extremos superiores forman una bisagra simple con el fémur, y los extremos inferiores son coronados por dos huesos del tobillo. Estos últimos están fuertemente unidos a la parte inferior y forman la parte superior de la articulación principal del tobillo, que de nuevo es muy simple y permite al pie balancearse de un lado a otro. La articulación del tobillo humano es relativamente elástica comparada con la de un dinosaurio; quizá el mejor equivalente sea el tobillo de un caballo, que es limitado y no puede realizar giros hacia los lados.

El pie de un dinosaurio es bastante diferente del de un humano. Los huesos largos (metatarsianos) no son paralelos al suelo, pero están agrupados y unen los dedos con la articulación del tobillo, de forma que los dinosaurios caminaban todo el tiempo sobre sus dedos. Éstos tienden a ser bastante largos y ligeros, lo que facilita que el pie se acople firmemente al suelo y ayuda al animal a mantener el equilibrio. Los dedos largos también aumentan la capacidad de zancada de la criatura y consiguientemente la velocidad a la que corre o camina; también es determinante de la característica forma estrecha del pie. Casi todos los dinosaurios tienen sólo tres dedos.

POSTURA DEL DINOSAURIO

Las diferentes posturas que puede adoptar un dinosaurio se dividen en dos categorías muy diferentes, como se deduce del desacuerdo entre los «reptiles paquidérmicos» de Owen con Leidy y Huxley, cuya propuesta presentaba dinosaurios semejantes a canguros o aves.

Sobre dos patas

Los primeros dinosaurios conocidos son bípedos, y puede que ésta sea la postura original de todo el grupo. En

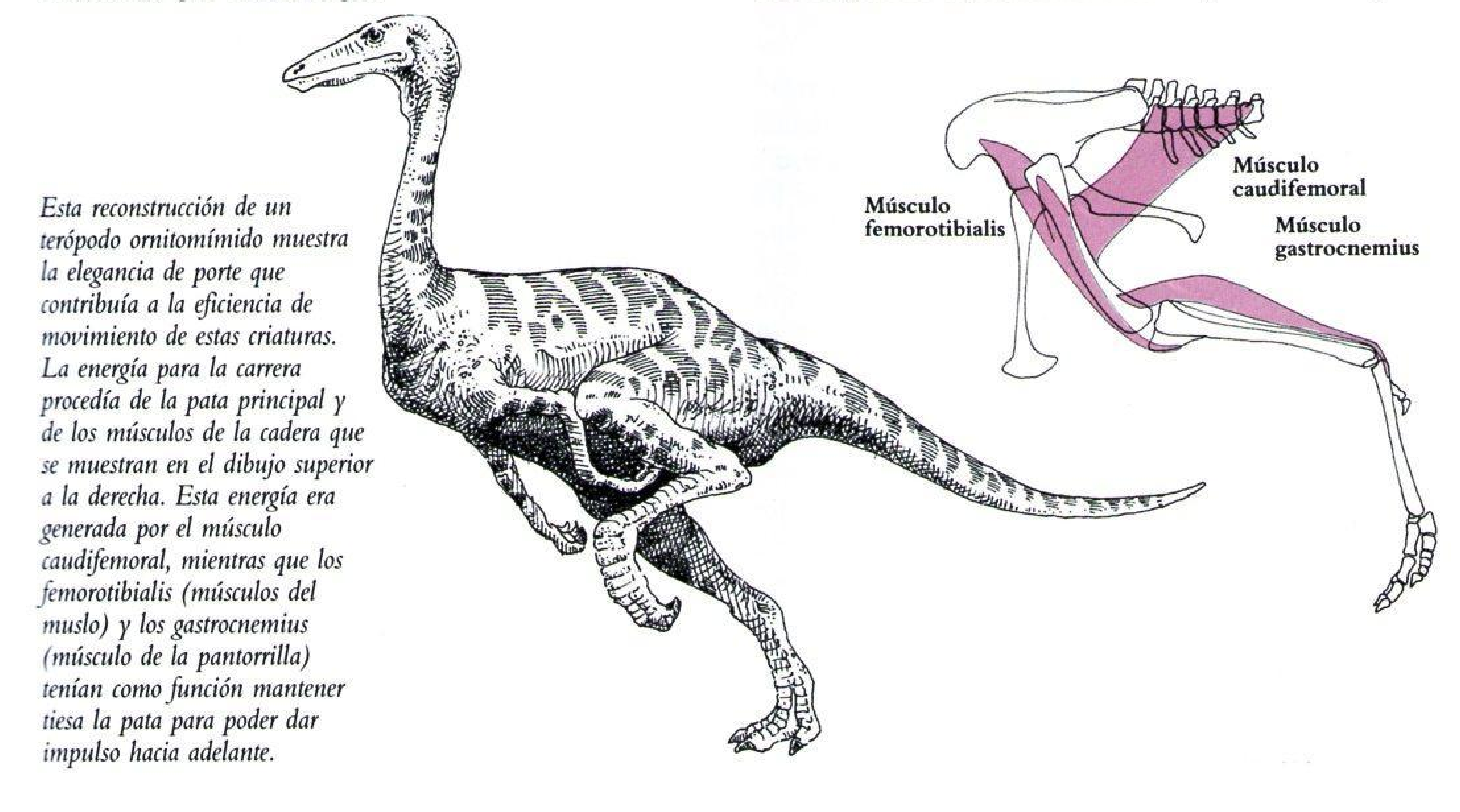
esta posición las patas traseras son largas y relativamente ligeras, facilitando la realización de largas zancadas que permiten correr velozmente. Puesto que la estructura de estos animales no es nada pesada, las patas pueden ser ligeras y delicadas. Por lo general, los huesos de la parte inferior de la pata, sobre todo los de la espinilla (la tibia y el peroné), y los metatarsianos que forman la parte superior del pie y a los que quedan unidos los dedos son particularmente largos; esto también favorece la zancada larga, en detrimento de una fortaleza general. Los pies son, por tanto, estrechos y los dedos, ligeros; consisten en tan sólo tres dedos que apuntan hacia adelante (números 2, 3 y 4), el primer dedo ha desaparecido o ha quedado muy reducido. El pie también se mantiene en lo que se llama una posición digitígrada (literalmente «andar sobre los dedos»), lo que significa que los largos huesos del pie (metatarsianos) se mantienen permanentemente alejados del suelo y el animal camina sólo sobre los dedos. Esta disposición aumenta la capacidad de alcance de la pata y también ahorra energía, pues significa que el cuerpo no tiene que alzarse y hundirse cada vez que se levanta el pie.

Los músculos que operan en la pata son grandes y fuertes, y se concentran en la parte superior, como es normal en los animales veloces que necesitan tener pies ligeros. Los músculos más potentes son los que van de la parte trasera de la pata superior al lateral de la cola (músculos *caudifemorales)* y tiran de la pierna hacia atrás, empujando el cuerpo hacia adelante con cada zancada; los grandes músculos del muslo *(femorotibialis)* que enderezan la rodilla; y los músculos de la pantorrilla *(gastrocnemius)* que estiran el pie.

El equilibrio del cuerpo en las caderas es posible gracias a la larga cola que sale de la cadera actuando como contrapeso. Delante de la cadera, el pecho tiende a ser bastante compacto, y el cuello se curva hacia arriba de forma pronunciada. Ambas cosas indican que el cuerpo no se proyecta demasiado hacia adelante, y por ello la cola no necesita ser demasiado pesada para lograr el equilibrio. El cuello flexible permite que la cabeza se alce, lo que proporciona mayor campo de visión; así no debe sorprender que sus ojos fueran grandes y bastante desarrollados. En realidad, a juzgar por la posición relativamente delantera de las órbitas, puede que algunos terópodos tuvieran una visión estereoscópica, es decir, podían ver un objeto con ambos ojos a la vez, lo que les permitía determinar con gran precisión la distancia a la que se encontraba. El pecho y el vientre cuelgan debajo de la espina dorsal, y las patas delanteras, exentas de caminar, se desarrollaron convirtiéndose en garras.

Estas características corporales generales se aprecian en toda una serie de carnívoros, incluida la totalidad de los terópodos, además de algunos herbívoros, pues también se ajusta a la descripción general de un ornitópodo. No obstante hay diferencias sutiles entre terópodos y ornitópodos.

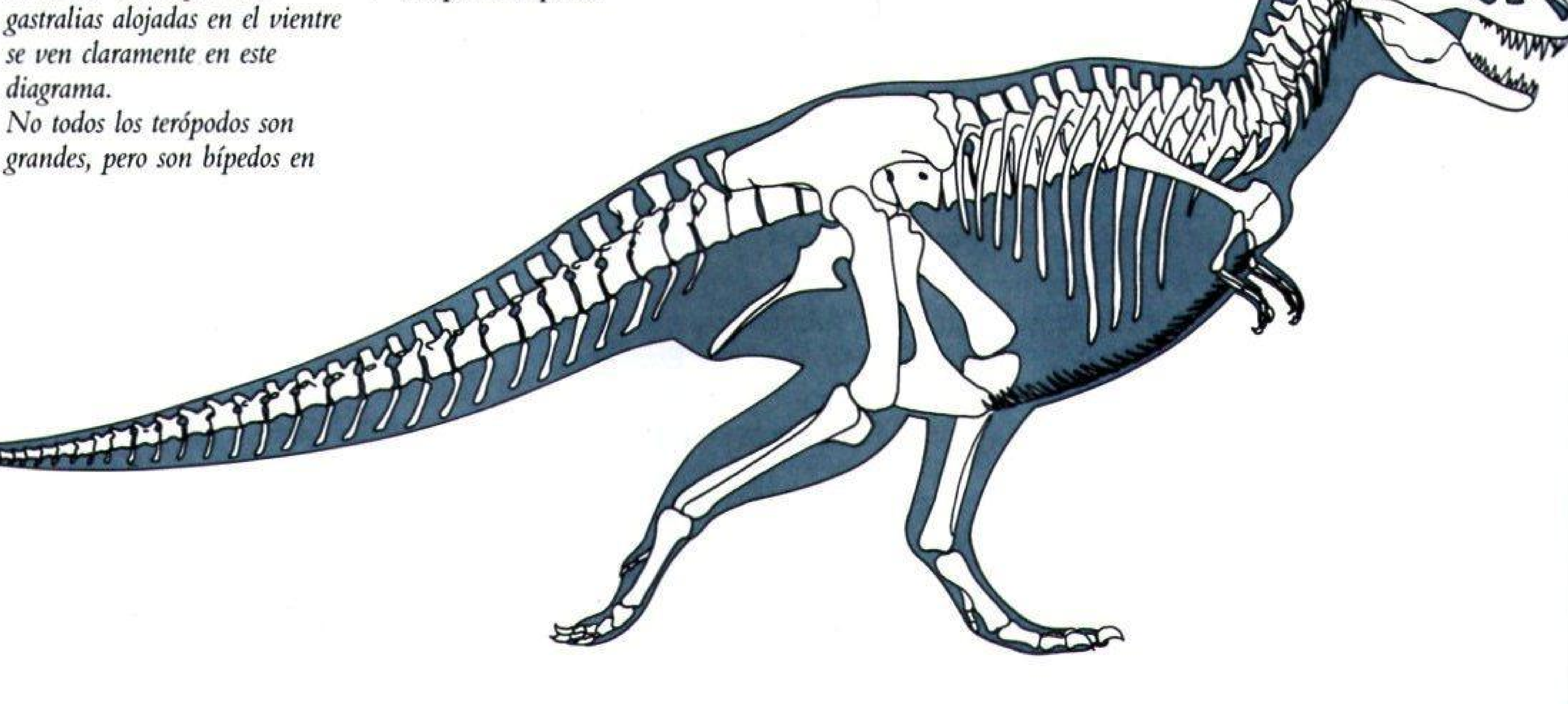
Terópodos bípedos. La espina dorsal de los terópodos tiene que actuar como una barra rígida que mantenga todo el peso del cuerpo por encima de la cadera, y algunas modificaciones han ayudado a que salga fortalecido. La cola a veces es endurecida mediante varas óseas que envuelven parcialmente los huesos de la cola. Esto resulta necesario para resistir la presión que sobre ella ejercen los grandes músculos retractores que mueven la pata



Esta reconstrucción de un terópodo ornitomímido muestra la elegancia de porte que contribuía a la eficiencia de movimiento de estas criaturas. La energía para la carrera procedía de la pata principal y de los músculos de la cadera que se muestran en el dibujo superior a la derecha. Esta energía era generada por el músculo caudifemoral, mientras que los femorotibialis (músculos del muslo) y los gastrocnemius (músculo de la pantorrilla) tenían como función mantener tiesa la pata para poder dar impulso hacia adelante.

Postura de un terópodo

Las fuertes patas mantenían el peso de terópodos de tamaño tan grande como el de este tiranosaurio y la espina dorsal actuaba a modo de viga flexible, pero fuerte, para mantener el cuerpo. Las gastralias alojadas en el vientre se ven claramente en este diagrama.
No todos los terópodos son grandes, pero son bípedos en su totalidad: corren sobre las patas traseras y utilizan la larga cola como contrapeso. Por esta razón corren con tanta agilidad, además de poder disponer de las manos para atrapar a la presa.



hacia atrás, además de evitar problemas de los latigazos cuando se utiliza como estabilizador dinámico (véase página xxx).

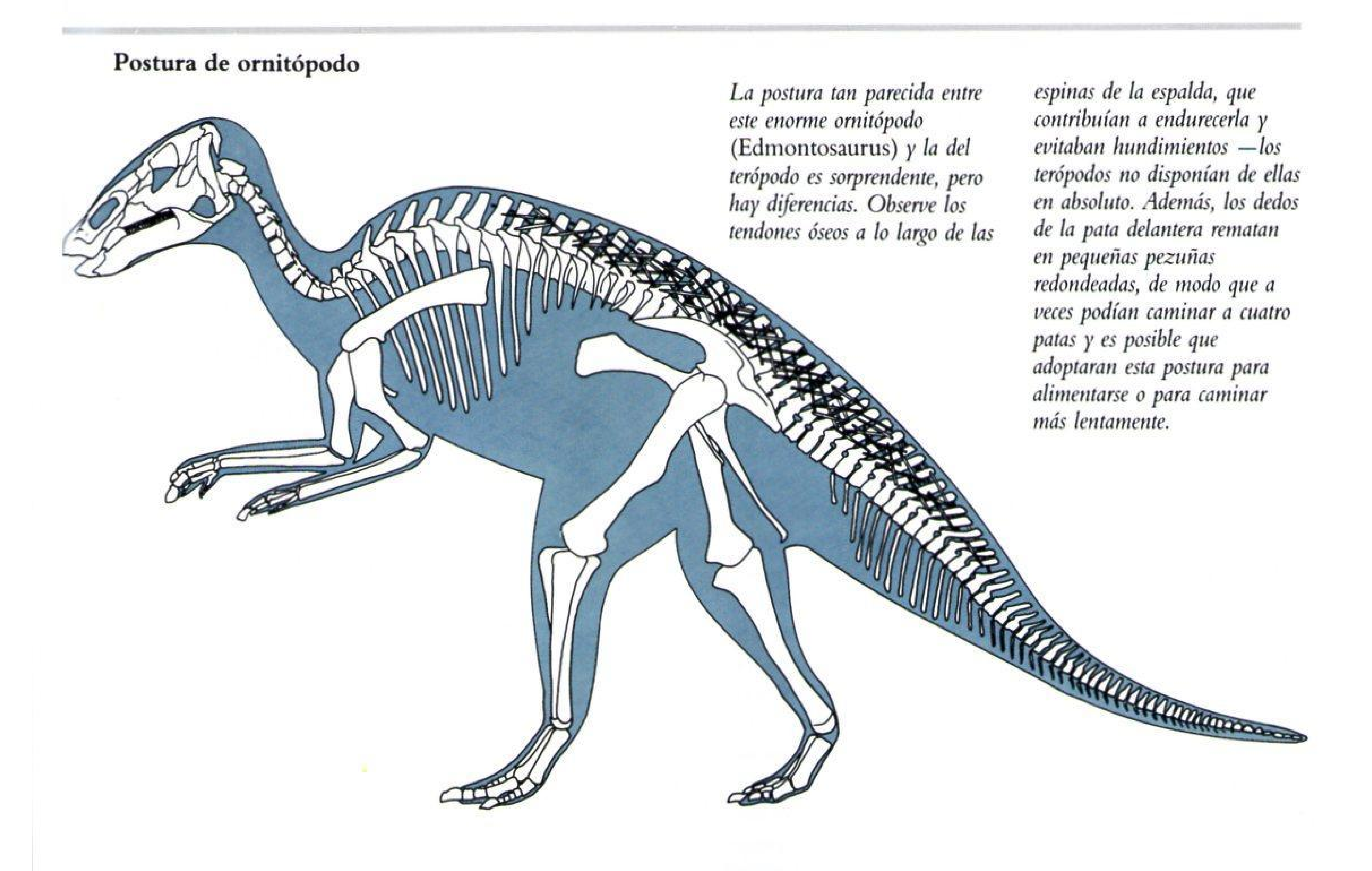
Las caderas están unidas a la espina dorsal por costillas muy cortas y fuertes llamadas sacras. Las vértebras más allá de la cadera tienen grandes espinas cuadradas que emergen en sentido vertical entremetiéndose por los músculos de la espalda. Estas espinas fortalecen la espina dorsal y evitan su hundimiento bajo el peso del vientre y el pecho mediante capas de fuertes ligamentos que se extienden entre las esquinas delanteras y traseras de las espinas adyacentes. En los terópodos más grandes, como el *Tyrannosaurus,* las vértebras presentan a veces perforaciones a los lados. Estas aberturas contribuyen a disminuir el peso de estos enormes animales, y se puede entablar una relación con el sistema de bolsas de aire que caracteriza a las aves modernas, consistente en una serie de pasadizos cargados de aire conectados a los pulmones.

La espina dorsal rígida se ve equilibrada mediante una disposición de los músculos y huesos que se alinean en el vientre de los terópodos. Los huesos, conocidos como gastralias, o costillas abdominales, efectúan su recorrido desde los hombros hasta el nivel de la cadera. Servían para proteger y fortalecer la zona del vientre, de forma parecida a como lo haría un corpiño.

Los extremos delanteros de los terópodos han sido modificados de formas diversas. En la mayoría las manos tienen tres dedos provistos de garras puntiagudas para atrapar a su presa. No obstante, algunos, como los ornitomímidos, tienden a desarrollar unos finos dedos con garras menos curvas cuya función era obviamente una manipulación más sofisticada de los objetos. Los tiranosaurios, a pesar de su talla enorme, parecen haber tenido brazos sorprendentemente cortos, con sólo dos garras, y una disposición similar se encuentra por otra parte en el *Carnotaurus,* un terópodo sudamericano cuyos antebrazos se ven reducidos casi a la nada.

Ornitópodos bípedos. La postura horizontal de la espina dorsal de los ornitópodos presenta la misma necesidad de fortalecimiento que los terópodos. Pero la solución que presentan los ornitópodos es radicalmente diferente. Estos tienden a presentar unas espinas más largas en sus vértebras, tanto en la cola como en la espalda. Generalmente tendrían músculos de gran tamaño a cada lado de las espinas, cuya función sería fortalecer y endurecer la espalda, como parece haber sido el caso de los

Postura de ornitópodo



La postura tan parecida entre este enorme ornitópodo (Edmontosaurus) *y la del terópodo es sorprendente, pero hay diferencias. Observe los tendones óseos a lo largo de las espinas de la espalda, que contribuían a endurecerla y evitaban hundimientos —los terópodos no disponían de ellas en absoluto. Además, los dedos de la pata delantera rematan en pequeñas pezuñas redondeadas, de modo que a veces podían caminar a cuatro patas y es posible que adoptaran esta postura para alimentarse o para caminar más lentamente.*

terópodos. No obstante, los ornitópodos parecen haber modificado estos músculos de la espalda de forma contundente, convirtiéndolos en largos «tendones osificados» (véase página xx). Estos dibujan un enrejado de largas varas que mantenían la espalda sin la necesidad de pesados músculos dorsales, con el consiguiente ahorro de energía.

El vientre de los herbívoros tiende a ser mucho mayor que el de los carnívoros. En los ornitisquios el hueso del pubis —hueso de la parte delantera inferior de la pelvis— gira hacia atrás para apoyarse en el isquion —hueso de la pata trasera—. De este modo queda mucho mayor espacio para el vientre, que tiene posibilidad de extenderse hacia atrás, por entre las piernas. Esto representa sin duda alguna una ventaja para los ornitópodos, porque no sólo les permite la posibilidad de tener un vientre de gran tamaño, sino que también pueden seguir siendo bípedos ágiles, ya que el peso del estómago queda desplazado hacia atrás entre las patas, de modo que el animal puede mantener el equilibrio. Lo más común es que un vientre grande obligue a un animal a caminar a cuatro patas. El vientre no parece haber estado bordeado de gastralias en los ornitópodos, y esto puede relacionarse con la necesidad de un vientre más grande y flexible en estos animales. A diferencia de los grandes terópodos no hay pruebas de la existencia de aberturas a los lados de las vértebras ni siquiera en los ornitópodos más grandes, algunos de los cuales, como el *Edmontosaurus,* el *Shantungosaurus* y el *Saurolophus,* alcanzaban longitudes de hasta 13,4 metros.

Los antebrazos y las garras de los ornitópodos no son tan variados como los de los terópodos. En las variedades más pequeñas, como el *Hypsilophodon,* el *Heterodontosaurus,* el *Dryosaurus* y el *Orodromeus,* la mano es ancha y provista de cinco dedos cortos y de garras embotadas, utilizadas para agarrar. En los tipos más grandes, como el *Iguanodonte,* el *Ouranosaurus* y los hadrosaurios, la mano es más larga y los dedos intermedios desarrollan anchas pezuñas en vez de garras, y está claro que servían como apoyo para caminar.

A cuatro patas

Los restos fósiles de dinosaurios cuadrúpedos pertenecen a una época posterior a la de los dinosaurios bípe-

dos, pero su interés no es menor y parecen ser considerablemente más variados. Casi todos los dinosaurios cuadrúpedos son herbívoros. De ello da cuenta el hecho de que el estómago de los herbívoros necesita un tamaño mayor y, a menos que el cuerpo haya sido modificado especialmente —como es el caso de los ornitópodos—, esto inevitablemente inclina el cuerpo hacia adelante, teniendo que ser mantenido por las patas delanteras.

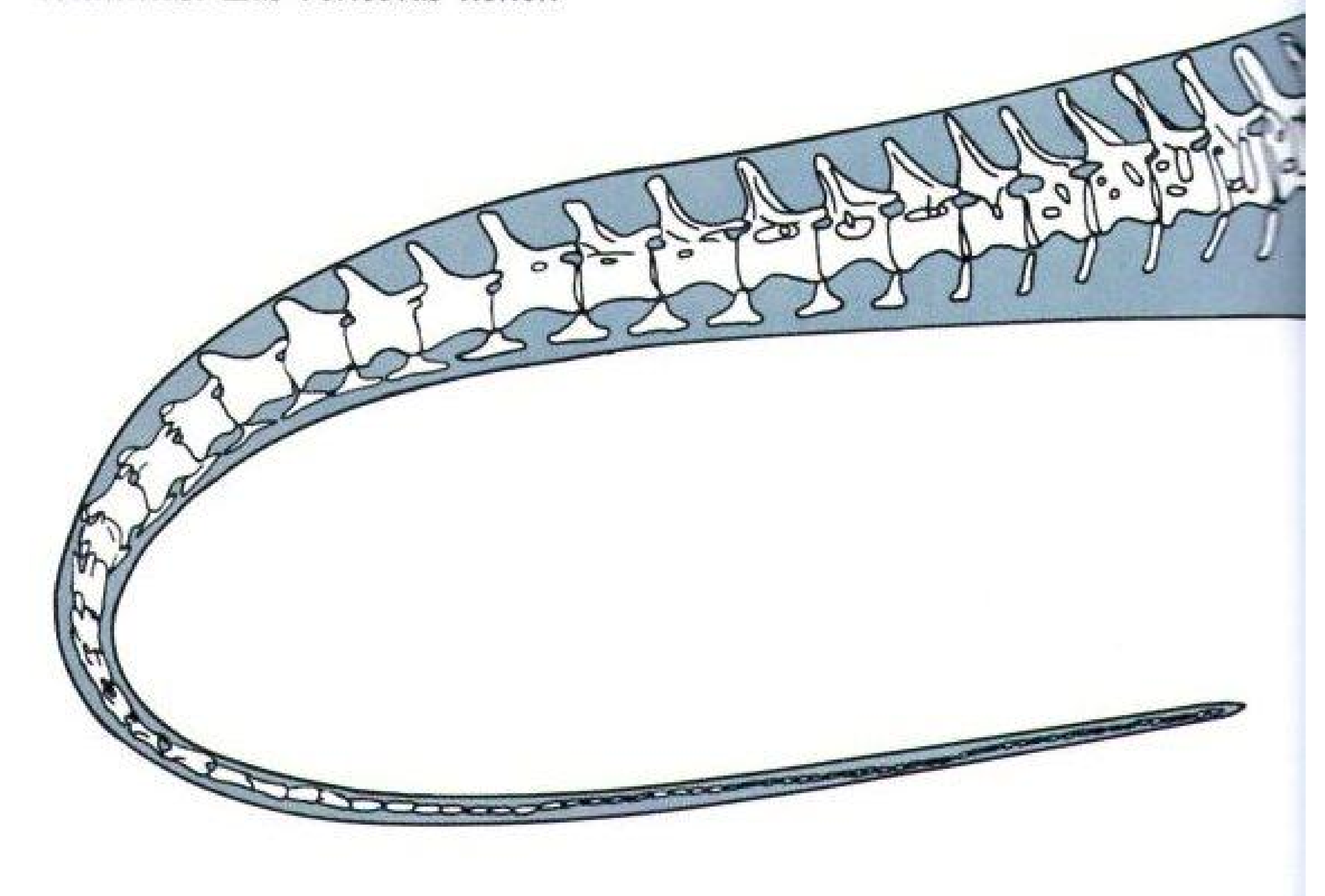
Exceptuando unos cuantos representantes de tamaño menor casi todos los dinosaurios cuadrúpedos tienen patas robustas, a modo de pilar, diseñadas para acarrear gran peso, más que como medio ágil de locomoción. Como resultado la proporción de los huesos de la pata tiende a ser justo lo opuesto a las de los bípedos. El fémur es el más largo, y es muy recto, pues curvas en la vara tenderían a debilitarlo. Los huesos de la espinilla (la tibia y el peroné) son más cortos que el fémur, y los huesos del pie también lo son, rematando en un ancho juego de dedos gruesos. La disposición de los huesos del pie es sorprendentemente parecida a la de los elefantes actuales y, otra característica común con los paquidermos, la pierna se mantendría probablemente recta en mayor o menor medida al realizar una zancada normal. El pie de los cuadrúpedos es especialmente interesante debido a la escasa longitud de los dedos. Muchas de sus huellas, especialmente las de saurópodos como las encontradas por Roland T. Bird —y más recientemente por otros como el doctor Martin Lockley, de la Universidad de Colorado, en Denver—, muestran que sus pies dejaban huellas cortas y redondas, muy parecidas a las de los elefantes. Sin lugar a dudas el pie de estas criaturas estaba diseñado en torno a un grueso talón fibroso en forma de cuña. En vez de reposar los largos dedos del pie sobre el suelo de modo que el talón tuviese que alzarse a cada paso, estos huesos quedan distanciados del suelo artificialmente por medio de una especie de talonera.

La ventaja de este talón es que ahorra gran cantidad de energía, exactamente la necesaria para alzar y bajar el tobillo (lo que conlleva transportar todo el peso corporal de arriba abajo) con cada zancada. El pie humano es plantígrado: la planta del pie se extiende hasta los tobillos y al caminar se posa en el suelo. Así pues, cada vez que damos un paso tenemos que alzar y bajar el tobillo, al mismo tiempo que todo nuestro cuerpo se mueve de arriba abajo, lo que produce un desgaste de energía. Probablemente nosotros podemos permitirnos este gasto de energía, pero un dinosaurio de veinte toneladas de peso o más no puede realizar este consumo innecesario.

No es sorprendente descubrir que la estructura de las patas delanteras de los cuadrúpedos sea muy similar a la de las traseras, excepto —en el caso de animales con colas pesadas, como los dinosaurios— cuando las piernas delanteras transportan una proporción menor del peso corporal y por ello presentan unas dimensiones y una potencia menor.

Postura del *Diplodocus*

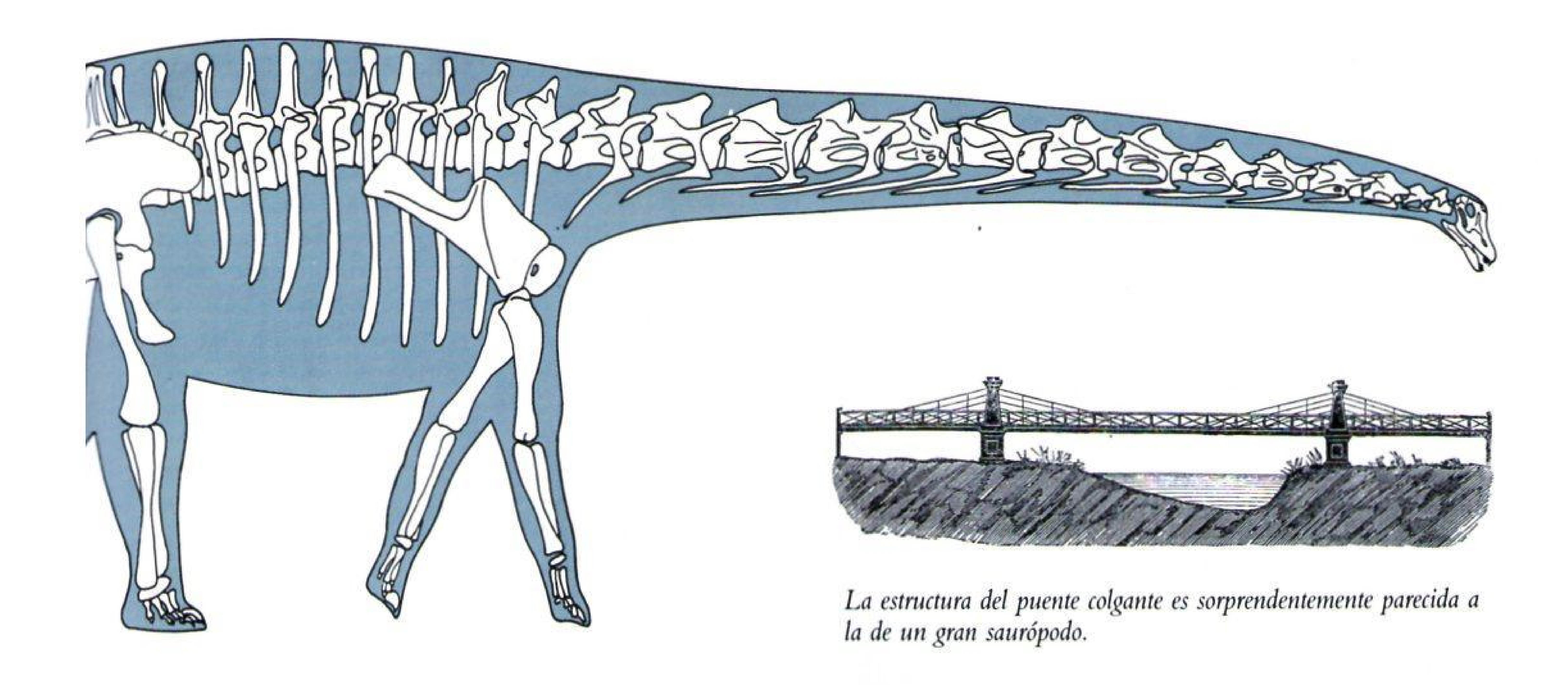
El enorme aparato digestivo de los grandes saurópodos empuja el peso del cuerpo hacia adelante, pero lo que tienen que repartirlo sobre cuatro patas parecidas a columnas. Las vértebras tienen zonas huecas para pesar menos y así no afectar a la fortaleza del esqueleto. El cuello podía alzarse para llegar al follaje que crecía en lo más alto de los árboles.



Para comprender la manera en que funciona la espina dorsal de un dinosaurio cuadrúpedo, como el *Diplodocus,* podemos pensar en un puente colgante. Las patas delanteras y traseras son las torres del puente, y la espina dorsal es la carretera que va de una a otra. En un puente colgante la cubierta, o carretera, es mantenida por cables que cuelgan entre las torres. De forma parecida la espina dorsal del sinosaurio es sujetada por los ligamentos y los músculos de la espalda. Pero la espina dorsal de un *Diplodocus* tiene que hacer frente a algo con lo que el arquitecto jamás hubiera soñado, pues la criatura no está inmóvil, sino que camina. La espina dorsal tiene que ser maleable, y sus vértebras están ensambladas de forma enrevesada para permitir que el cuello, la espalda y la cola sean flexibles.

Entre las caderas y los hombros la espina dorsal está ligeramente curvada hacia arriba; de hecho la carretera de un puente colgante también está ligeramente arqueada. En ambos casos se trata de hacer que el peso recaiga mayormente en los extremos. Pero a diferencia de la carretera, la espina dorsal también es mantenida por debajo con ayuda de las costillas, que a su vez son sostenidas por músculos que desde ellas parten hacia los hombros y las caderas.

La gran cola es una característica típica de reptil y proporciona sostén para los potentes músculos de las patas.



La estructura del puente colgante es sorprendentemente parecida a la de un gran saurópodo.

Pero en el caso del saurópodo gigante tiene un papel muy importante, pues funciona conjuntamente con el cuello. Las espinas sobre las vértebras de la espina dorsal son grandes en este tipo de dinosaurio, y a menudo tienen una estría que atraviesa su parte media. La razón más probable para esto es que afianzara un tendón macizo y ligeramente elástico que hacía el recorrido entre la cola y el cuello a lo largo de toda la espina dorsal. Esta disposición permitía a estos dinosaurios disponer de un medio de apoyo económico para el cuello y la cola, sin necesidad de poner en marcha gran cantidad de energía muscular. En vida estos animales seguramente eran capaces de estar de pie con el cuello y la cola despegados del suelo sin realizar grandes esfuerzos.

El cuello de los saurópodos podría alzarse y descender con ayuda de los músculos situados en la parte inferior del cuello de modo que estas criaturas pudiesen alcanzar la copa de los árboles en busca de alimento. Además, como sugirió Bakker, parece probable que estos animales pudiesen ponerse sobre dos patas, concretamente las posteriores, usando la cola como una «tercera pata», formando una especie de trípode. Cálculos basados en el área transversal de las patas traseras de estos dinosaurios (llevados a cabo por el profesor británico Robert McNeill Alexander, de la Universidad de Leeds) y la longitud conocida del hueso sugieren que las patas traseras eran seguramente lo bastante fuertes como para mantener el peso total del cuerpo.

A la enorme complejidad del sistema de apoyo de la espina dorsal en estos impresionantes animales hay que añadir otro factor de gran importancia: el ahorro de peso. Es paradójico, pero los animales terrestres cuyo peso alcanza las diez, veinte o incluso treinta toneladas tienen que intentar mantener su peso corporal total al mínimo, pues cualquier disminución conlleva un ahorro en el esfuerzo que supone mantener su propio peso. Como sucede en algunos de los terópodos más grandes las vértebras a menudo tienen agujeros en los laterales. En los saurópodos éstas se convierten en estructuras muy elaboradas que convierten la espina dorsal en un auténtico laberinto. Se llega incluso al caso de algunos saurópodos cuyas costillas son huecas para ahorrar peso.

Tomar como ejemplo un saurópodo de tamaño enorme, cuello largo y cola prolongada quizá resulte un tanto extremo, pero estos principios básicos referentes a la estructura son aplicables a todos los dinosaurios cuadrúpedos. Naturalmente los más pequeños no tienen tanta necesidad de economizar el uso de los huesos. Algunos de los sauropodomorfos del Triásico y de principios del Jurásico no tienen aberturas en las vértebras y no muestran el desarrollo tan extremo de tendones suspensorios en el cuello y la cola. Ningún ornitisquio estuvo dotado de cavidades en las vértebras, por ejemplo, y —como se mencionó con anterioridad— los ligamentos suspensorios de la espina dorsal están formados por tendones osificados, y no por el largo tendón simple de

los saurópodos mayores. Los ornitisquios tampoco desarrollaron la longitud de su cuello, más bien al contrario, pues la tendencia es a encontrar ejemplares dotados de cola y cuello cortos, mientras que la cabeza era grande y pesada.

¿CÓMO SE ALIMENTABAN?

Ya se conoce la división de animales en dos tipos teniendo en cuenta su base alimenticia: los carnívoros, que se alimentan de carne, y los herbívoros, que se alimentan de plantas. La mayor diversidad de dinosaurios pertenece a los herbívoros, en la que se incluyen los representantes de los dos grupos principales, los saurisquios y los ornitisquios. Los únicos carnívoros eran los saurisquios terópodos, que a pesar de poseer un diseño corporal relativamente conservador, la forma en que conseguían alimento era de lo más innovadora.

Terópodos carnívoros

La mayoría de los terópodos se alimentaban de carne. Todos comparten la misma clase de dentadura: las piezas son estrechas, puntiagudas y curvas. La parte delantera y —a veces— la trasera se caracterizan por estar serradas, de forma parecida a la de algunos cuchillos de cocina. Cuando se trata de hincar el diente en la carne de la presa y de matarla con rapidez estos dientes son ideales.

El proceso de caza y captura debe de haber sido despiadado una vez que la posible presa fuera detectada por uno de estos depredadores veloces y provistos de un agudo sentido visual. Un movimiento rápido bastaría para inmovilizar a la víctima con ayuda de las agudas garras y dientes. Cuando la mandíbula se hubiese fijado a la presa el borde serrado de los dientes resultaría muy efectivo para desgarrar la carne, obteniéndose así enormes trozos del tamaño de un mordisco. La resistencia que opusiese la presa en su intento por liberarse serviría al propósito de su enemigo, quedando aún más atrapada en los dientes curvos del depredador. El terópodo también daría fuertes tirones hacia atrás, haciendo uso de los músculos de su cabeza y cuello con la intención de descuartizar a su presa. Este tipo de caza sería compartido por gran variedad de terópodos, no obstante puede que algunos utilizasen ligeras variaciones.

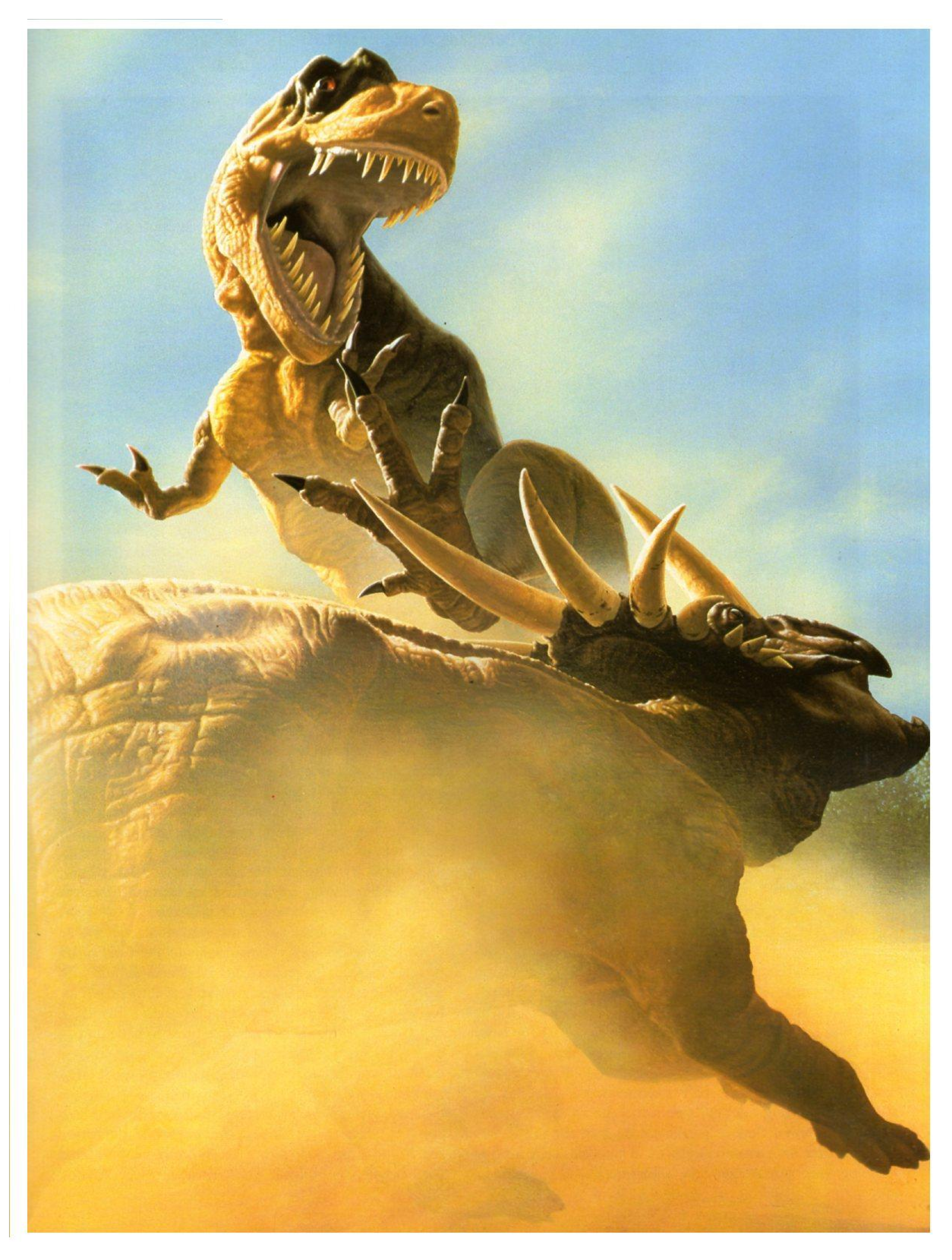
Los terópodos exageradamente grandes, como los tiranosaurios, puede que se alimentasen de forma ligeramente diferente a la mayoría. Parece probable que primero se aproximasen a su presa sigilosamente, abalanzándose finalmente sobre ella. Eran los principales depredadores del Cretácico tardío, y seguramente se alimentaban de las numerosas manadas de hadrosaurios y ceratópidos que existían en ese momento. Estas dos presas son animales grandes y veloces, por lo que abatirlos resultaría una ardua tarea. Especialmente en el caso de los ceratópidos, pues muchos de ellos podían defenderse con los terribles cuernos que coronaban sus cabezas. Por ello un ataque sorpresa debe de haber sido un factor determinante del éxito de la caza. Las enormes cabezas son extremadamente largas, como parecen indicar los dientes casi rectos de estas criaturas. Seguramente la presa caía en un asalto mortal en el que el tiranosaurio arremetía con la cabeza contra el costado del enorme *Triceratops* con la boca totalmente abierta. El choque entre un tiranosaurio de un peso de una y media toneladas, por ejemplo, y un *Triceratops* de dos toneladas debe de haber sido colosal; el primero hundiría sus largos dientes parecidos a sables en la carne de la víctima, produciéndole importantes heridas y en el mejor de los casos una muerte rápida. El tino y el cronometraje eran factores vitales: un cálculo erróneo del tiranosaurio habría permitido al ceratópido esquivar el ataque e incluso atravesarle con sus impresionantes cuernos.

Una vez que la víctima hubiese sido sometida, el tiranosaurio se habría tomado su tiempo para devorarlo, utilizando sus agudos dientes para arrancar grandes trozos de carne. La mandíbula de estas tremendas criaturas tenía cierta flexibilidad a cada lado, permitiéndoles ahuecarse por los laterales de modo que cupiesen grandes trozos de carne.

Los huesos del cráneo de la mayoría de los terópodos son sorprendentemente finos y ligeros, con enormes huecos a los lados de la cara. Esta combinación otorga al cráneo gran maniobrabilidad y ligereza, haciendo de él un instrumento potente y flexible. Casi todos los cráneos presentan boquetes enormes en la parte delantera para las fosas nasales y cerca del centro para los ojos, pero también hay otros delante y detrás de los ojos que proporcionan sujeción a los potentes músculos de la mandíbula.

Algunos de los terópodos mayores, como los allosaurios y los tiranosaurios, tienen cráneos de algo más de peso. El aumento de peso corresponde a la resistencia mayor que tienen que ofrecer estos huesos durante la captura de la presa y el proceso de alimentación. También hay ejes que recorren la parte superior del cráneo justo detrás de los ojos. Estos ejes se ladean ligeramente de arriba abajo. Esta característica concedía claramente mayor flexibilidad a la mandíbula superior durante la

El Daspletosaurus, *un gran tiranosaurio, no ha conseguido coger desprevenido al enorme* Styracosaurus, *un ceratópido increíblemente blindado. Al esquivar la embestida del depredador, la presa aprovecha ahora su ventaja y atraviesa al enemigo con su enorme cuerno nasal.*





El Baryonyx *es un terópodo que seguramente se alimentaría de peces, aunque no se puede descartar que también hiciese presa de otros animales.*

trituración del alimento, y seguramente tenía como función principal permitir determinada elasticidad al cráneo para que amortiguase el impacto cuando la bestia embestía contra su presa a quizá treinta kilómetros por hora.

El *Baryonyx,* un terópodo descubierto en Gran Bretaña en 1983, parece no ajustarse a ninguna de estas reglas. Este depredador de 8,5 metros de longitud posee una serie de características craneales de lo más desconcertante. Tiene un «matojo» de dientes de gran tamaño en la punta del hocico; detrás de él y de forma inesperada posee gran cantidad de dientes menores, con forma parecida a la de un lapicero. El morro es bastante largo y bajo, pero la parte trasera del cráneo es muy profunda. Lo que esto pueda indicar sobre el modo de vida de esta criatura ha resultado bastante controvertido. El puñado de dientes enormes en la punta del morro encuentra paralelismo en algunos cocodrilos de gran tamaño, mientras que los dientes cilíndricos se parecen más a los que tienen criaturas cuya base alimenticia es el pescado. La longitud y el hundimiento de la parte delantera del cráneo son también características totalmente sorprendentes. Se ha sugerido que fuese un terópodo piscívoro (es decir, que se alimentaba de peces) aduciendo que la enorme garra curva que se ha encontrado con el esqueleto bien podría haber formado parte de la garra, utilizándose como arpón con el que capturar a la presa. Otra interpretación, algo más convencional, es que se trata de un animal carroñero; en este caso el morro largo y hundido sería práctico para hundirse en las cavidades que presentase el cuerpo corrupto de la víctima.

Los ornitonímidos («lagartos imitadores de aves») como el *Ornithomimus,* el *Struthiominmus* y el *Gallimimus* tienen un aspecto parecido a los avestruces de nuestros días, y es muy probable que vivieran y se alimentasen de forma parecida. El pico les habría permitido alimentarse de casi cualquier cosa, siempre que fuese lo bastante pequeño para poder ser tragado: insectos y animales pequeños como largartos, anfibios y mamíferos, quizá también frutas y bayas.

Los *oviraptosaurios* («lagartos robadores de huevos») como el *Oviraptor* y el *Caenagnathus* es posible que tuviesen hábitos muy parecidos a los de los ornitomímidos, pero también es probable que estuviesen especializados

en la captura de huevos. Sus pesadas, cortas y gruesas mandíbulas parecen estar especialmente diseñadas para partir las duras cáscaras de los huevos de otros dinosaurios.

Los problemas de comer plantas

En general es mucho más difícil digerir plantas que carne. Mientras que la carne se corta con rapidez y se digiere con facilidad, los tejidos de las plantas son mucho más resistentes, y previamente necesitan ser triturados concienzudamente para sacarles la sustancia. Además, las plantas están constituidas en gran medida por celulosa. Por desgracia ningún animal ha desarrollado jugos digestivos (enzimas) capaces de eliminar esta celulosa. Esto aumenta la dificultad de los herbívoros para extraer la mayor cantidad de alimento nutritivo de las plantas de que se alimentan.

El problema que plantea digerir la celulosa ha sido resuelto afortunadamente por microbios capaces de producir enzimas que convierten la celulosa en azúcares que los animales pueden asimilar. La mayoría de los animales de nuestros días cuya base alimenticia son las plantas todavía sacan partido a este hecho alojando en sus intestinos colonias de microbios que también resultan beneficiados.

Por ello los herbívoros generalmente muestran diferentes tipos de adaptación con el fin de conseguir extraer el alimento de las plantas duras, alojando en sus intestinos a microbios que realizan una función muy importante.

Sauropodomorfos

Los primeros sauropodomorfos del Triásico tardío y de principios del Jurásico, conocidos como «prosaurópodos» y entre los que se incluyen el *Plateosaurus*, el *Lufengosaurus*, el *Massopondylus* y el *Anchisaurus*, fueron los primeros herbívoros altos de la tierra. Antes, la mayor altura que un animal herbívoro podía haber alcanzado sería de aproximadamente 1,2 metros, por lo que el follaje de los árboles no se vería apenas afectado. La llegada de estos primeros dinosaurios altos debe de haber asestado un duro golpe a la población arbórea del Triásico tardío.

Estos animales tenían una cabeza relativamente pequeña y el cuello largo. El cuerpo podía elevarse reposando sobre las dos patas traseras, lo que les permitiría alcanzar alturas de incluso seis metros, o más en algunos representantes mayores.

La mandíbula estaba provista de dientes pequeños en forma de diamante con bordes toscos e irregulares, especialmente útiles para desgarrar trozos de vegetación, aunque está claro que no estaban especialmente adaptados para moler o masticar este alimento. Parece que la trituración de la planta debe de haberse producido en algún lugar especial del intestino con una función parecida a la molleja de un ave moderna. La molleja era una potente bolsa muscular provista de guijarros llamados gastrolitos («piedras del estómago») que el animal tragaba deliberadamente. Una vez que las plantas llegaban a la molleja se las ponía a «centrifugar» y eran pulverizadas gracias a las contracciones de las gruesas paredes musculares de la molleja y la acción demoledora de los gastrolitos. Cuando las plantas habían sido reducidas a un líquido espeso eran enviadas a otras partes del intestino donde se absorbiesen los alimentos nutritivos y los microbios pudiesen digerir la celulosa.

El Jurásico tardío fue el momento en que hicieron aparición los mayores herbívoros que jamás hayan po-



Gastrolitos (piedras del estómago).
A menudo se encuentran piedras angulares pulidas como esta en el interior o en las cercanías de los esqueletos de sauropodomorfos de mayor tamaño. Las piedras las recogían los dinosaurios y se las tragaban de forma que quedaran fijas en la disposición muscular de la molleja. Piedras como esta harían trizas las plantas más resistentes, reduciéndolas a papilla de la que se extraerían los alimentos nutritivos. Este sería el primer paso en el proceso digestivo; a continuación se produciría la fermentación gracias a los microbios alojados en el intestino.

blado el planeta. Estos animales desarrollaron las tendencias expuestas en los primeros representantes hasta sus últimos extremos. Volvieron a adoptar una postura sobre cuatro patas, y su cuerpo se agrandó para alojar un estómago y un intestino enormes que les permitiera procesar enormes cantidades de plantas. El cuello era larguísimo, gracias a lo cual podían alcanzar el follaje más alto, y la cola ayudaba a conseguir el equilibrio. La cabeza era increíblemente pequeña.

El *Braquiosaurus* es uno de los representantes más conocidos de saurópodo gigante. La forma general de su cuerpo es la de una jirafa, pero es mucho mayor que éstas: de pie sobre sus patas delanteras alcanzaba los once metros de altura, llegando así a la copa de cualquier árbol. Probablemente el peso total del animal fuese de entre veinte y treinta toneladas y su longitud era de veintitrés metros, no obstante el cráneo sólo medía unos noventa centímetros, lo que quizá pueda parecer un tamaño excesivo si se compara con cualquier otro cráneo animal, pero no en relación con el tamaño total de su propietario.

La mandíbula era fortísima, y los dientes tenían más o menos forma de cuchara, con los bordes como los de un escoplo para arrancar a mordiscos hojas y ramas. Pero como ocurría con otros representantes más tempranos la cabeza sólo actuaba como colector de comida: su única función era abastecer constantemente de plantas al estómago del animal. Una molleja muscular gigante provista de pedruscos machacaba las plantas hasta que podían traspasarse al resto del intestino. Aquí se procesarían muchos de los alimentos nutritivos extraídos de la molleja, desechando la celulosa indigerible y otros materiales. Éstos pasarían a una serie de bolsas sin salida que saldrían de los laterales del tubo intestinal principal. Estas bolsas, denominadas intestinos ciegos, eran las cámaras que alojaban a los microbios intestinales cuya labor consistía en hacer fermentar la celulosa. El alimento permanecía en esta parte del intestino hasta que todos, si no todos, los alimentos nutritivos hubieran sido extraídos antes de ser expulsados del cuerpo en forma de excrementos. Este sistema altamente rentable aseguraba a estos gigantescos animales el aprovechamiento al máximo de los alimentos nutritivos contenidos en esta comida de pésima calidad de la que dependían.

Proceso alimenticio y digestivo del braquiosaurio

Cabezas aéreas
Encaramada sobre el alto cuello, la cabeza tenía fácil acceso a la copa de los árboles y su follaje. Los dientes tenían forma de cuchara, con bordes angulosos ideales para cortar, pero de escasa utilidad para masticar los tipos de alimento más duros.

Un tubo muscular muy largo y fino (esófago) conectaba la boca con el estómago. Los músculos de este tubo forzaban los bocados de alimento hacia el estómago, más o menos como ocurre con el dentífrico cuando sale del tubo.

Ornitisquios

Desde el principio los ornitisquios parecen haber realizado su alimentación herbívora de modo diferente. Todos tienen un puntiagudo pico córneo en la parte delantera de la boca que resultaría muy efectivo para cortar plantas. Probablemente estos dinosaurios se dividirían en diferentes grupos dependiendo de las clases de plantas de que se alimentaran, lo que sería determinado por la forma del pico. Los picos estrechos y puntiagudos eran claramente ideales para devoradores de piezas individuales de frutas o brotes tiernos. Los ornitisquios con hocicos más amplios probablemente se alimentaban de forma más rápida y menos cuidadosa, atrapando con los bordes del pico, afilados como guillotinas, una mezcla de hojas, ramas, corteza y cualquier otra cosa que se pusiera por delante. El pico escondía una mandíbula equipada de diferentes series de dientes que se utilizaron en función de la dureza del alimento.

Una característica adicional y muy importante de todos los ornitisquios es que tenían carrillos carnosos a ambos lados de la boca. Ninguno de los reptiles de nuestros días tiene carrillos (tan sólo los mamíferos) y es otra particularidad inusual y característica de este tipo de dinosaurio. La presencia de carrillos la sugiere el hecho de que a ambos lados de la cara de estos dinosaurios hubiese fosas profundas a lo largo de la mandíbula, y los bordes de estas fosas o bolsas están ligeramente marcados mediante cicatrices musculares que muestran la posición de los límites de los carrillos. Éstos impiden que se es-



Izquierda. *Una vez que el estómago ha reducido la comida a una pasta puede seguir avanzando por el intestino. Al principio pasa por los estrechos tubos intestinales y después va al intestino ciego, con forma de bolsa. Estos enormes tubos de paredes finas alojan colonias de microbios que no dejan de crecer mientras devoran la celulosa que forma el duro tejido de la planta.*

Intestinos de dinosaurio

Parte superior. *La alimentación a base de vegetación dura exigía un sistema digestivo fuerte con el fin de extraer los alimentos nutritivos esenciales. Trozos de plantas cortadas de forma irregular llegaban directamente al estómago muscular, donde la vegetación se mezclaba con enzimas digestivas y eran machacadas con la ayuda de potentes contracciones y de los gastrolitos alojados en los pliegues de la pared estomacal.*

Derecha. *Una ventana al estómago muestra la gruesa capa muscular que lo envolvía y las piedras (gastrolitos) alojadas en ella que se utilizaban para convertir la vegetación más dura en una pasta.*

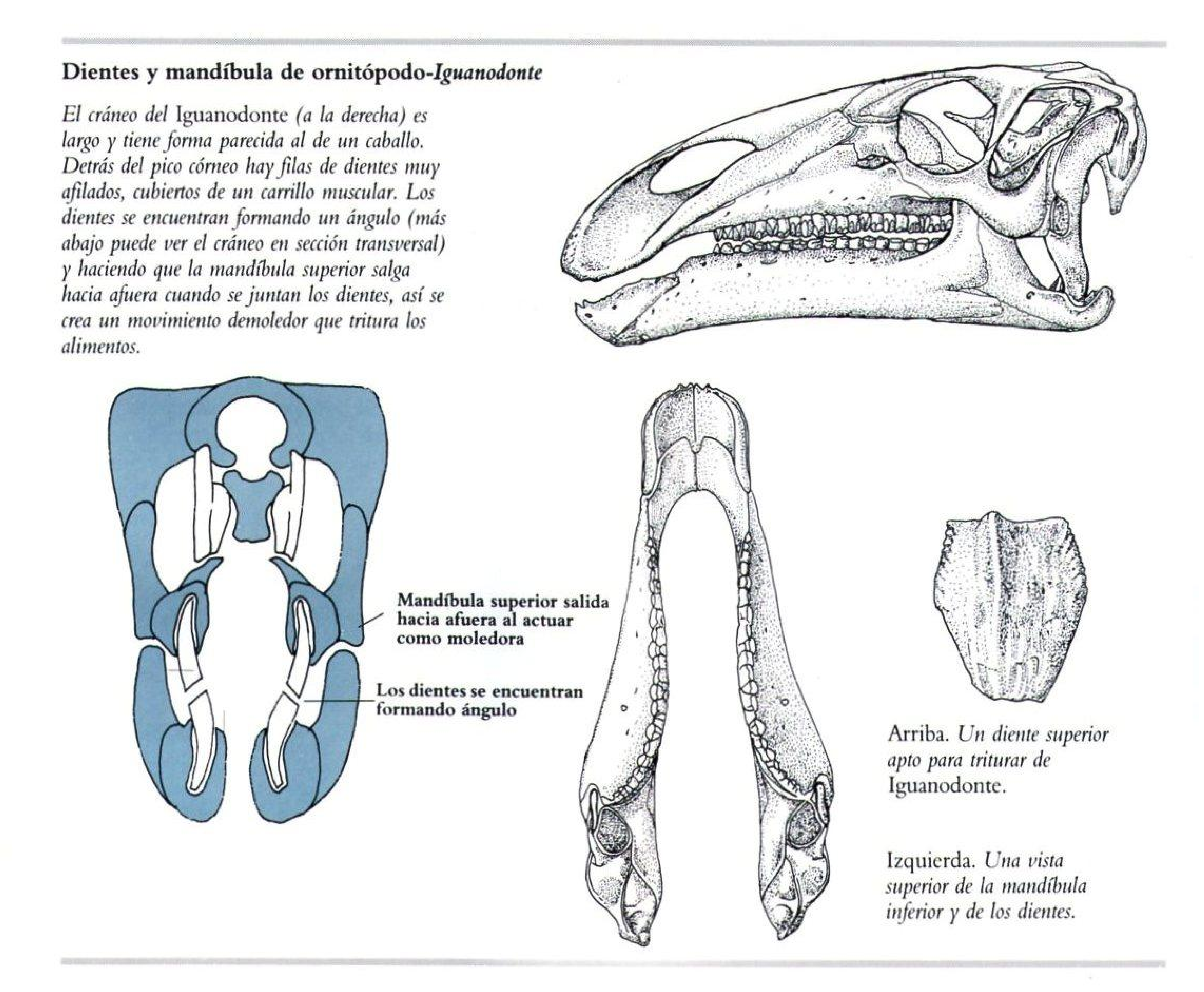
cape el alimento por los laterales de la boca, evitando así cualquier desperdicio.

Los **ornitópodos pequeños** como el *Lesothosaurus,* el *Thescelosaurus* y el *Orodromeus,* así como los paquicefalosaurios, los stegosaurios y los anquilosaurios, parecen haber tenido un mecanismo de alimentación relativamente simple.

Los ornitópodos pequeños y los paquicefalosaurios tenían picos estrechos, aptos para una alimentación «de precisión», e hileras de dientes simples en forma de diamante en la parte posterior de la mandíbula. Parece claro que se alimentarían de comida blanda, relativamente nutritiva y cuyos componentes se extraerían sin grandes esfuerzos de masticación. Esta combinación de factores sugiere que no necesitaban un gran estómago para hacer fermentar grandes cantidades de celulosa, pues la comida era de buena calidad y bastante blanda.

Los stegosaurios y los anquilosaurios eran animales más grandes y pesados que los dos grupos anteriores y eran cuadrúpedos. Aunque no alcanzaban el tamaño de los saurópodos, no obstante la parte principal de su cuerpo estaba construida según los mismos patrones: cuatro patas en forma de columna que sostendrían una espalda arqueada de la que colgaban el pecho y un vientre espacioso. El morro es bastante más ancho que el de los ornitópodos, especialmente en el caso de los anquilosaurios, que tienden a tener picos amplios en forma de pala; es evidente que consumían una variedad mucho mayor de vegetación. Los dientes son relativamente pequeños y poco diferentes de los ornitópodos pequeños, y por ello no parecen haber sido instrumento de masticación, sino que simplemente se encargaban de cortar alimento listo para ser tragado.

No hay pruebas contundentes de la existencia de gastrolitos (piedras estomacales) en ninguna de estas criaturas. Ambos grupos de dinosaurios parecen pertenecer a los menos ágiles y activos de todos, y puede que simplemente almacenasen el alimento durante largo tiempo en su estómago, dejando que el proceso de digestión y fermentación de los microbios se tomase su tiempo, sin



Dientes y mandíbula de ornitópodo-*Iguanodonte*

El cráneo del Iguanodonte *(a la derecha) es largo y tiene forma parecida al de un caballo. Detrás del pico córneo hay filas de dientes muy afilados, cubiertos de un carrillo muscular. Los dientes se encuentran formando un ángulo (más abajo puede ver el cráneo en sección transversal) y haciendo que la mandíbula superior salga hacia afuera cuando se juntan los dientes, así se crea un movimiento demoledor que tritura los alimentos.*

Arriba. *Un diente superior apto para triturar de* Iguanodonte.

Izquierda. *Una vista superior de la mandíbula inferior y de los dientes.*

necesitar el auxilio de una molleja cargada de piedras. El único requisito parece ser que el estómago fuese lo bastante grande para actuar como cuba de fermentación de toda la comida que estas enormes criaturas comiesen durante largos intervalos de tiempo.

Hay dos grupos de ornitisquios que merecen particular atención: los ornitópodos más grandes y los ceratópidos. Ambos grupos habían perfeccionado métodos de machacar alimento en la boca; procedimiento similar al de algunos de los masticadores de vegetación dura más eficientes de nuestra época: los caballos y el ganado.

Los **ornitópodos más grandes** cuentan con criaturas como el *Iguanodonte,* el *Ouranosaurus* y los hadrosaurios. El pico es ancho y anguloso, pero los dientes, en vez de aparecer en hileras a lo largo de la mandíbula, crecen en grupos entrelazados cuya cantidad va disminuyendo hasta formar una larga superficie ideal para la trituración.

Durante la masticación las mandíbulas inferiores de estos animales suben y bajan, y cuando los dientes empezaban a triturar la comida aprisionada la mandíbula superior, provista de un resorte, se inclinaba hacia adelante. Este curioso mecanismo de los huesos a los lados de las caras se descubrió recientemente, y se apreció por primera vez como característica del *Iguanodonte.* Permitía a la dentadura superior deslizarse a los lados a través de los dientes inferiores actuando como una piedra de molino, lo que resulta de vital importancia para triturar las plantas más resistentes.

La combinación de mecanismos especiales para entrechocar unos dientes con otros, fuertes músculos de las mandíbulas y carrillos permitían a estos dinosaurios reducir a papilla la planta más dura en la boca de forma que llegase al estómago dispuesta para una digestión y absorción más rápida. Una molleja provista de piedras no habría sido necesaria, pero todavía dispondrían de intestinos ciegos fermentativos detrás del estómago para la digestión de la celulosa por los microbios.

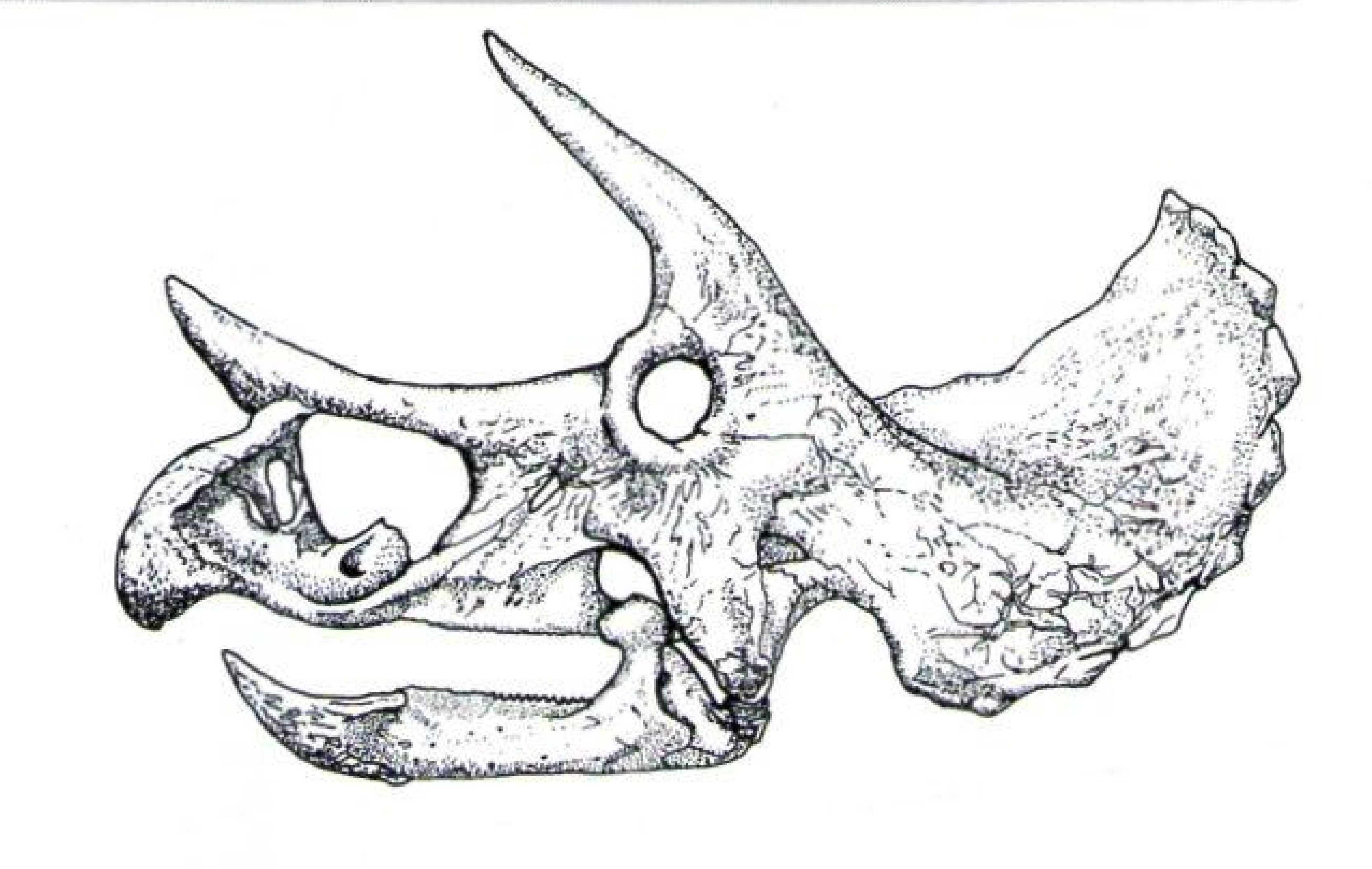
Los **ceratópidos mayores** tenían unos cráneos de estructura bastante diferente de la de los ornitópodos. Los huesos se mantenían juntos de forma muy rígida, sin posibilidad de movimiento o articulación de la mandíbula superior. La inflexibilidad del cráneo era esencial, pues en él reposaba la enorme cresta, y en muchos casos el nacimiento de grandes cuernos por encima de los ojos y la nariz. Por lo que respecta a la alimentación su mandíbula era muy característica. El pico era extremadamente estrecho, consistente en unas partes superior e inferior con pronunciada forma de gancho, dispuestas y de aspecto bastante parecido a las de un loro. Esta clase de pico estaba sin duda diseñado específicamente para cortar, y no para pacer o ramonear como era el caso de la mayoría de los picos de ornitisquios.

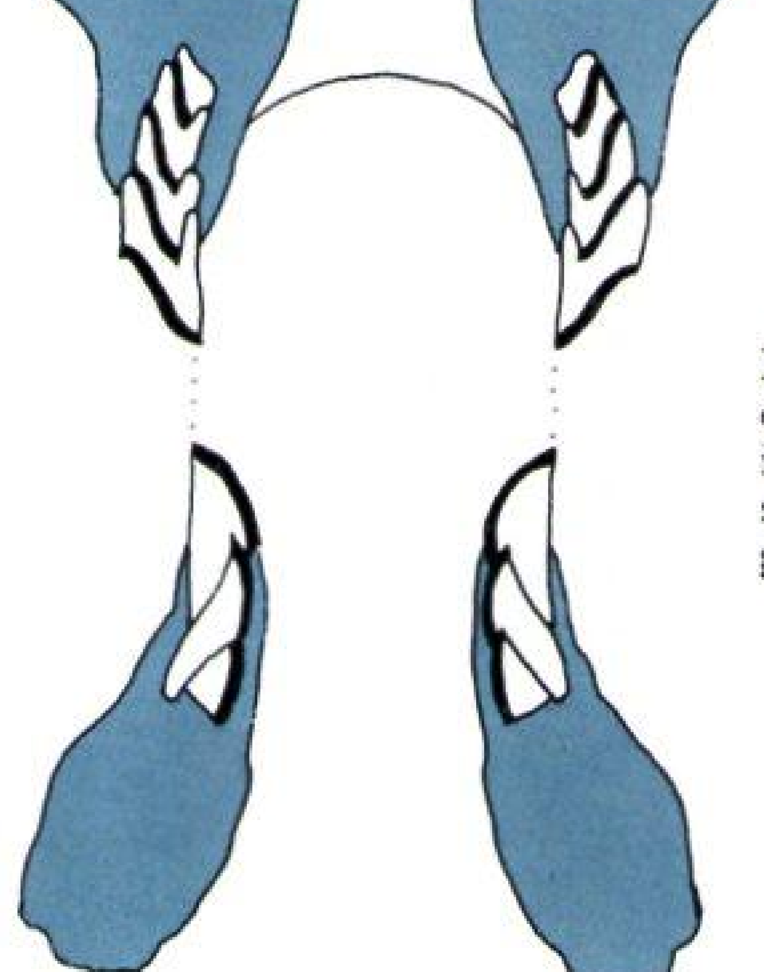
Detrás del estrecho pico las mandíbulas estaban provistas de centenares de dientes. De nuevo estas piezas forman juegos entrecruzados de grupos de dientes, como sucede en los ornitópodos mayores, pero en vez de formar las repisas anteriormente comparadas con piedras de molino, los dientes de los ceratópidos son muy afilados y están estrechamente unidos formando una especie de hojas de guillotina. Seguramente se utilizaban para cortar las plantas en pequeños trozos; además es muy probable que una gran lengua muscular empujara la comida hacia afuera a través de los dientes para que llegara a los carrillos los músculos de éstos forzaban el alimento de nuevo hacia el centro de la boca, teniendo que atravesar de nuevo la barrera dental.

Cuando las plantas habían sido convertidas en finas tiras, eran tragadas y procesadas en el estómago. Parece probable que estos ceratópidos dispusieran de una molleja para machacar los trozos más a fondo antes de la digestión. Aunque no existen pruebas contundentes sobre la existencia de gastrolitos en el interior de los esqueletos de grandes ceratópidos, sí que hay una muestra conocida de un magnífico esqueleto de un ejemplar pequeño, el *Psittacosaurus* —encontrado por la Expedición Americana al Asia central, concretamente a Mongolia, en los años veinte. Este esqueleto tiene una montaña de guijarros, más de cien, justamente en la zona en que se supone quedaría alojado el estómago. Seguramente a lo lar-

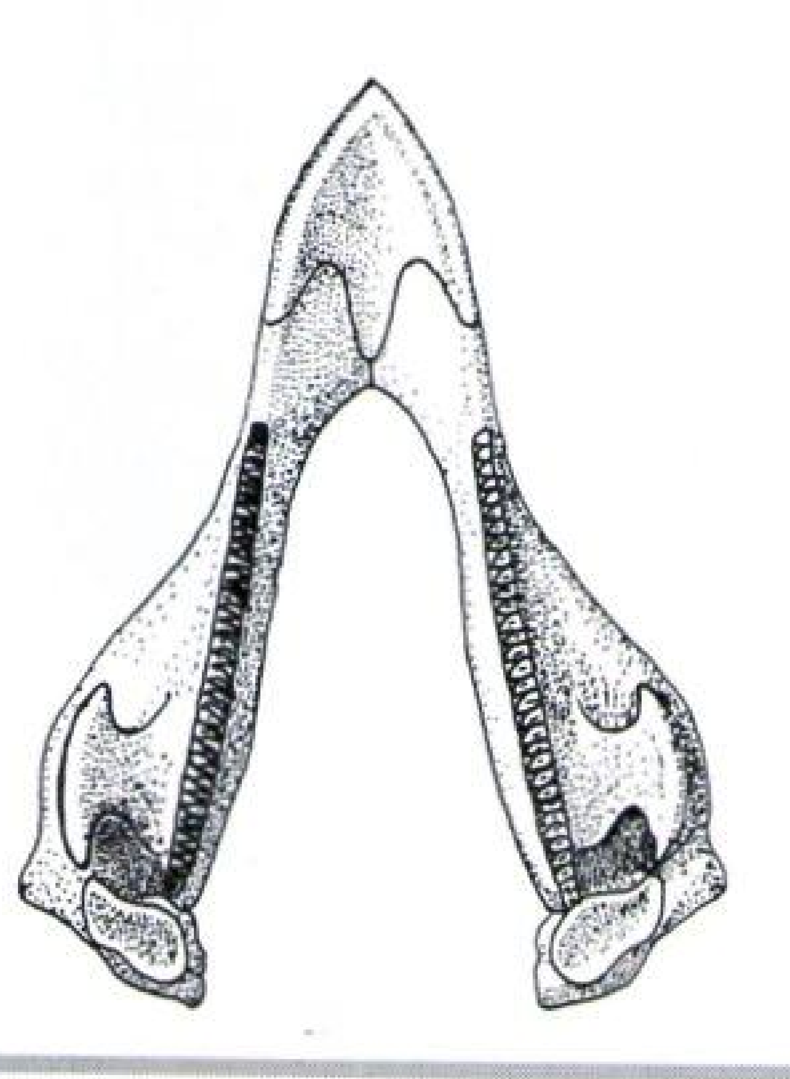
Dientes y mandíbula de ceratópido-*Triceratops*

El Triceratops *tiene un cráneo de construcción muy pesada (a la derecha) con un enorme pico córneo de forma curva para arrancar a mordiscos las plantas más duras. Los laterales de las mandíbulas estaban cubiertos por carrillos musculares dentro de los que se alojaban agudas hojas cortantes formadas por centenares de dientes entrelazados (foto inferior en el centro-vista superior de la mandíbula inferior). La mandíbula se ponía en funcionamiento con la ayuda de poderosos músculos a los laterales del cráneo delante de la gola.*





Los bordes agudos de los dientes superiores e inferiores se deslizan entre sí como las hojas de una guillotina



Arriba. *La raíz de cada diente se bifurca para entrelazarse con la pieza adyacente.*

go del intestino también estarían presentes grandes bolsas de fermentación situadas dentro del abdomen extremadamente grande de estos pesos pesados del mundo de los dinosaurios.

Las plantas contraatacan

Los dinosaurios herbívoros se convirtieron claramente en los mayores enemigos de la flora. Su evolución les equipó de medios muy variados para arrancar plantas de las que alimentarse: picos córneos de diferentes tamaños y formas, dientes en forma de cincel, o en forma de peine para capturar como rastrillos las hojas o agujas de los pinos. No es sorprendente que las plantas a su vez desarrollaran sus propias defensas para hacer frente a este ataque. Se hicieron más puntiagudas, se endurecieron —por lo que comerlas resultaba más difícil— y en algunos casos desencadenaron defensas químicas, sustancias que les daban un sabor desagradable o que podían envenenar a cualquier animal que intentase alimentarse de ellas. Algunos de estos mecanismos de defensa resultaron ser todo un éxito, tanto es así que incluso se pueden ver aun hoy día.

Todavía abundan helechos de varios tipos, como en el Mesozoico, pero son pocos los animales que pueden alimentarse de ellos en la actualidad. Aunque son plantas relativamente blandas, sus defensas químicas las hacen extremadamente desagradables al paladar para los herbívoros. No obstante es muy probable que formasen la dieta de muchos dinosaurios del Mesozoico que se nutrían de plantas de escasa altitud. Los cicadales, abundantes durante la época de los dinosaurios, aún están presentes en la actualidad y son conocidos por sus hojas duras y abrasivas. Las araucarias son otro ejemplo de un antiguo tipo de árbol común en aquellos tiempos. También se caracteriza por un follaje duro y puntiagudo. Las coníferas (pinos, abetos, piceas, tejos, alerces, secoyas y cipreses) son también un grupo antiguo de la era de los dinosaurios. El follaje estrecho y correoso de estas plantas y las ceras y demás productos químicos que producen las hacen incomestibles en mayor o menor grado.

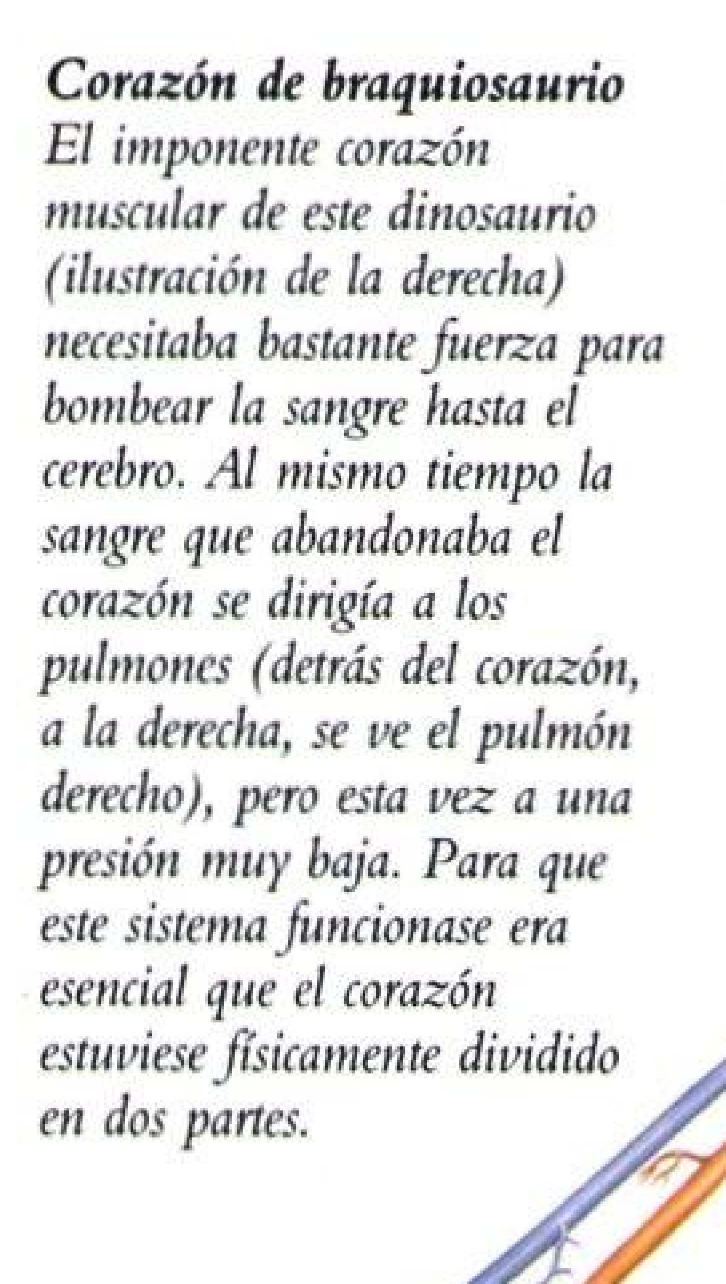
En todos estos casos son pocos, si acaso, los herbívoros que se alimentan de estas plantas de forma generalizada. Varios roedores (sobre todo las ardillas) se alimentan de piñones, además de algunas aves como los pinzones. Ambos son capaces de arrancar los granos nutritivos de las piñas maduras. Pero todos ellos están especializados en este tipo de alimentación, y no son comparables en absoluto a los grandes animales de pasto como la jirafa, el antílope, el elefante o el rinoceronte que viven en la actualidad en la llanura africana. Estas observaciones no son aplicables, claro está, a insectos o pequeños organismos. Estos se reproducen rápidamente y pueden evolucionar con mayor rapidez que criaturas más grandes. No hay planta a la que no corresponda alguna pequeña criatura que haya desarrollado una estrategia para alimentarse de ella.

Cómo sobrevivieron las plantas

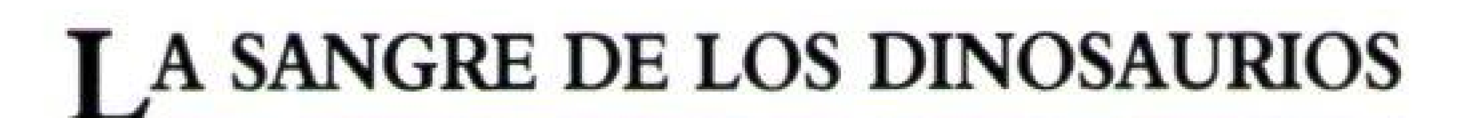


Las estrategias de protección desarrolladas por las plantas incluyen defensas mecánicas (cicadales, arriba a la izquierda), defensas químicas (colas de caballo, arriba a la derecha) y otras simplemente desarrollaron la capacidad de crecer con la mayor rapidez (por ejemplo las magnolias, a la derecha).

Algunas de las plantas de la misma época en que vivieron los dinosaurios tenían mecanismos de defensa que las protegían de los estragos causados por los dinosaurios herbívoros; estos mecanismos les han asegurado la supervivencia hasta nuestros días.



Corazón de braquiosaurio
El imponente corazón muscular de este dinosaurio (ilustración de la derecha) necesitaba bastante fuerza para bombear la sangre hasta el cerebro. Al mismo tiempo la sangre que abandonaba el corazón se dirigía a los pulmones (detrás del corazón, a la derecha, se ve el pulmón derecho), pero esta vez a una presión muy baja. Para que este sistema funcionase era esencial que el corazón estuviese físicamente dividido en dos partes.



LA SANGRE DE LOS DINOSAURIOS

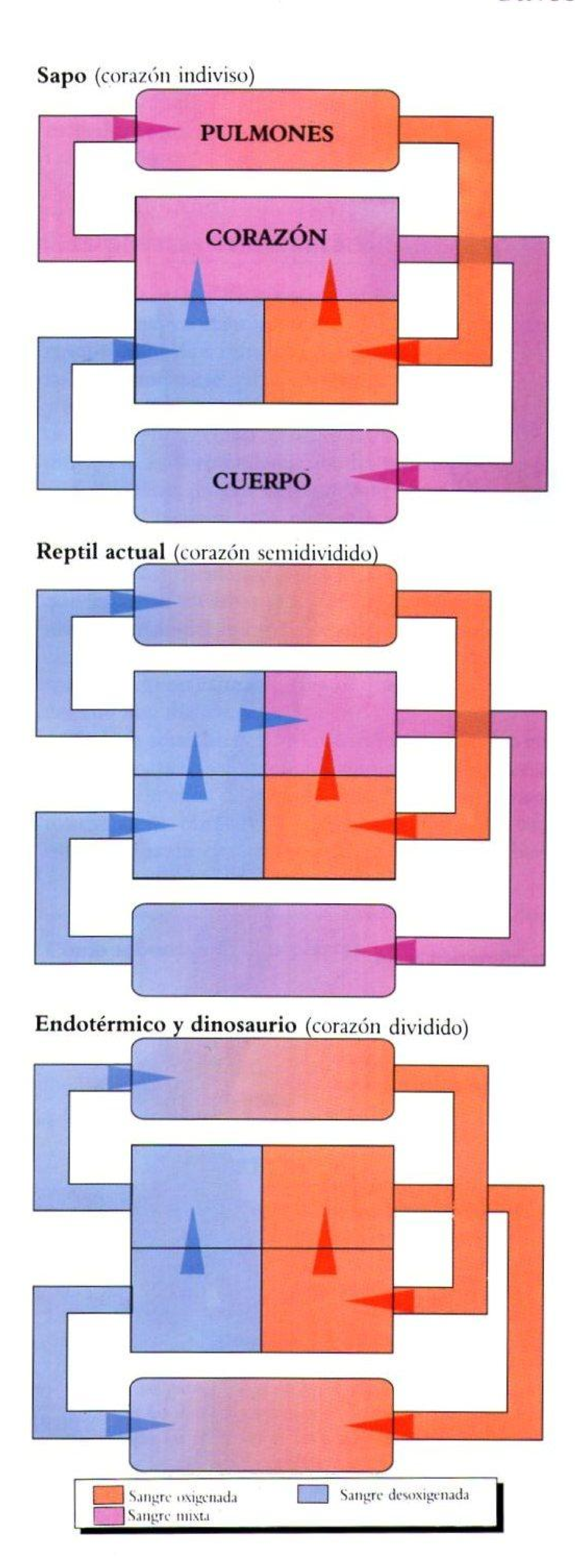
Es evidente que la sangre no se fosiliza. Pero es sorprendente la cantidad de información que se puede averiguar sobre ella: su recorrido por el cuerpo de los dinosaurios y cómo se hacía uso de ella. Esta cuestión está íntimamente ligada a la fisiología de estos animales, en particular con el controvertido tema de si eran animales «de sangre fría o caliente».

El corazón de un dinosaurio

En 1980 se demostró que la postura de los dinosaurios requería un abastecimiento de sangre muy especial. El factor más importante a este respecto es la posición de la cabeza. Para explicar este punto quizá sea lo más conveniente el ejemplo más extremo del mundo de los dinosaurios —pues los mismos principios corresponden en cierta medida a casi todos los dinosaurios—. Como ejemplo tomaré al *Braquiosaurus,* saurópodo parecido a una jirafa.

El *Braquiosaurus* tiene una altura de once metros. El cerebro que controla las actividades de este monstruo animal está aproximadamente a unos 7,5 metros por encima del corazón. Con el fin de bombear la sangre al cerebro a este nivel, el corazón tiene que generar una presión enorme, por ello debe de haber tenido un gran tamaño y estar provisto de fuertes músculos. Aunque todo esto parece perfectamente razonable y comprensible, el hecho de que un corazón sea capaz de producir una importante presión sanguínea no encaja exactamente con

Reconstrucción de un braquiosaurio
Este dinosaurio tenía un aspecto muy marcado de jirafa con la cabeza alzada a gran altura sobre el pecho y patas como columnas. La anatomía de un esqueleto como éste impone una serie de limitaciones en la forma de funcionamiento de los huesos, la respiración y la circulación sanguínea. La altura de la cabeza necesitaba un corazón muy potente que generase suficiente presión para hacer llegar la sangre al cerebro. La ventaja es que un sistema sanguíneo a alta presión permitiría un modo de vida mucho más activo de lo que cabría esperar si este animal hubiese funcionado como un reptil convencional.



nuestros conocimientos sobre el mecanismo del corazón de un reptil moderno.

Los corazones de reptiles, mamíferos y aves hacen circular la sangre por todo el cuerpo del animal en dos circuitos separados. Un circuito pasa a través de los pulmones, de modo que la sangre pueda librarse de los desechos de dióxido carbónico y oxigenarse. El otro circuito transporta la sangre, recién oxigenada, de los pulmones por todo el cuerpo. En mamíferos y aves estos dos circuitos —el pulmonar (a y desde los pulmones) y el general (a y desde el resto del cuerpo)— se ven físicamente separados en el corazón, que está dividido en dos partes, una izquierda y una derecha. Los reptiles de nuestros días tienen el corazón dividido de forma algo imperfecta. Por varias razones tienen un sistema permeable que permite a la sangre pasar del sistema pulmonar al general dentro del corazón.

Si el corazón de los dinosaurios fuese parecido al de los reptiles modernos el resultado habría sido catastrófico, como se aprecia claramente en el ejemplo del *Braquiosaurus.* La sangre del circuito general, a una presión increíblemente alta, cuyo destino es el cerebro y el resto del cuerpo, habría podido filtrarse en el circuito con dirección a los pulmones. Éstos, no obstante, deben trabajar a baja presión sanguínea, porque el cambio de gas sólo puede producirse de forma efectiva a través de capilares muy finos, y por ello muy débiles. La sangre a alta presión causaría enormes desangramientos en los pulmones y el branquiosaurio se habría ahogado literalmente en su propia sangre.

Este hecho tan simple implica que la mayoría de los dinosaurios, o al menos aquellos que fuesen bastante grandes o adoptasen una postura en la que la cabeza se mantuviese a una altura por encima del corazón, deben de haberlo tenido totalmente dividido, similar al que se encuentra en aves y mamíferos. Si esto le recuerda a algunas de las palabras proféticas en boca de Richard Owen en 1841 (página XX) le felicito por la atención con que está leyendo este libro.

Aparte de las funciones obvias de la sangre, es decir, la de transportar los alimentos nutritivos y los gases por todo el cuerpo, otra función igual de importante es la de calentar el cuerpo. La existencia de esta función ha sali-

Izquierda. *Mientras que los reptiles vivos tienen una cámara parcialmente dividida, las aves y mamíferos actuales (y probablemente los dinosaurios) lo tienen completamente dividido. Esto les permite bombear sangre de forma mucho más eficaz y llevar una vida más activa que los reptiles.*

Derecha. *Las grandes placas situadas en la espalda de los stegosauros pueden haber servido como medios de señalización, pero sobre todo actuaban como paneles solares o radiadores para controlar la temperatura corporal de estos dinosaurios.*

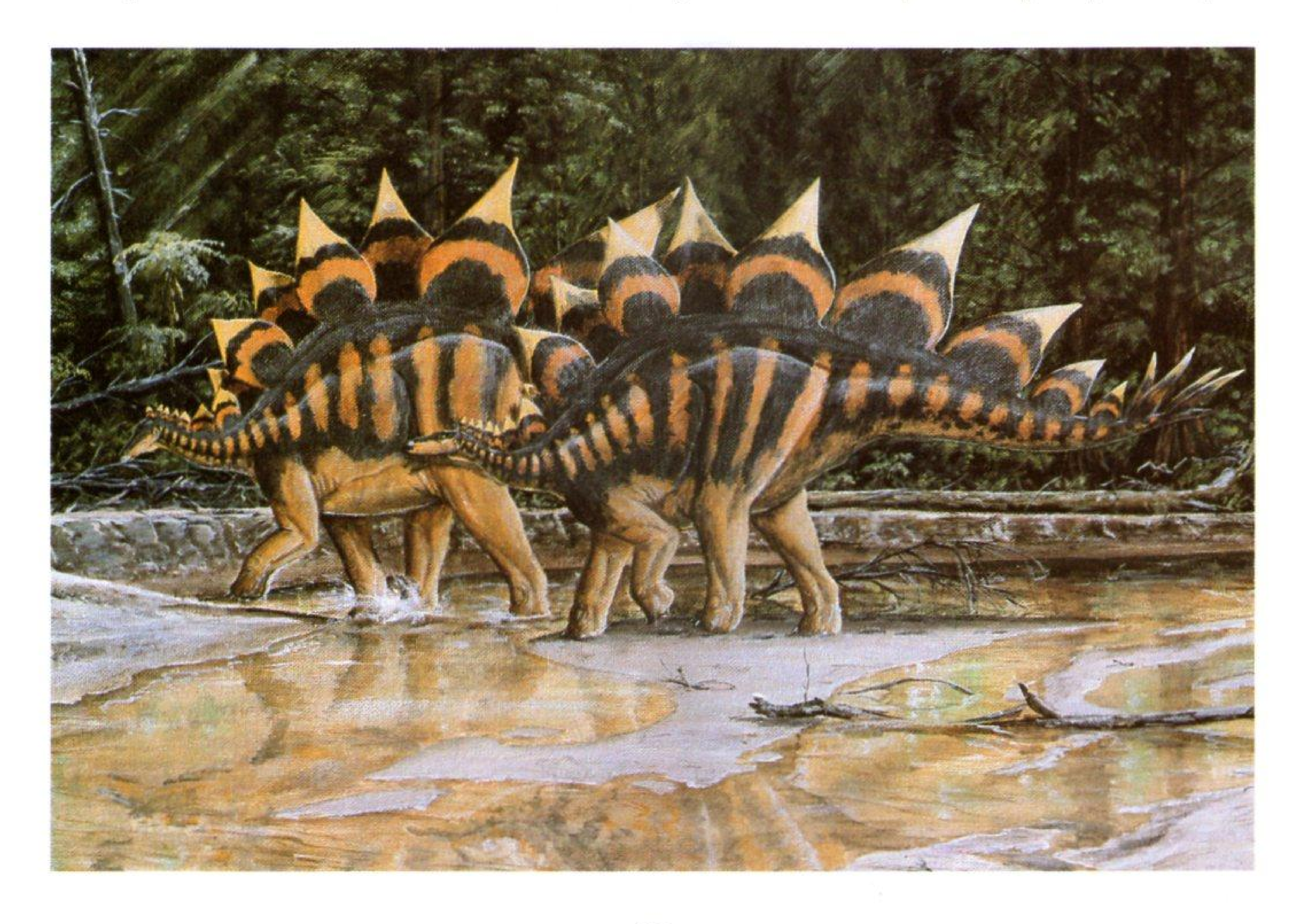
do a la luz gracias a investigaciones llevadas a cabo recientemente sobre los dinosaurios. El doctor James Farlow, de la Universidad de Indiana, Fort Wayne y sus colegas han analizado con detalle la estructura de las largas placas que recorren la espalda de los *Stegosaurus.*

Calentarse y enfriarse

La controversia sobre la posición y función de estas placas ha sido notoria. Se las considera generalmente como medios de protección, por ello se generalizó representarlas o bien alineadas como si fuesen las plumas de la corona de un jefe indio (como se disponen en los esqueletos de todos los museos) o proyectándose hacia los lados, protegiendo así los costados vulnerables. La discusión se ha centrado en la conveniencia de situarlas en parejas en una sola fila formando dos hileras, o en dos filas de placas alternas. Farlow y sus colegas desafiaron esta teoría y sugirieron una función radicalmente diferente de las placas.

Un examen detenido de los laterales de las placas, de su base y de los cortes transversales de placas individuales demostraron sin lugar a dudas que no eran elementos sólidos protectores en absoluto. Eran estructuras laberínticas y parecían estar diseñadas para permitir que grandes cantidades de sangre se colasen por las placas y saliesen a la superficie por debajo de la piel. ¿Para qué? Farlow sugirió que esto les permitiría actuar como paneles solares que absorbiesen el calor o como radiadores, dejando escapar en el aire el exceso de calor. Pudo apoyar su propuesta en experimentos realizados en túneles de viento, estructura también relacionada con la probable disposición de las placas. Las pruebas demostraron que el diseño óptimo de las placas, si esta hubiera sido su función, era aproximadamente el de forma de diamante; esto coincidía con su forma. También demostró que la disposición ideal para que las placas perdiesen calor y lo recuperasen era en una serie equilibrada de dos filas.

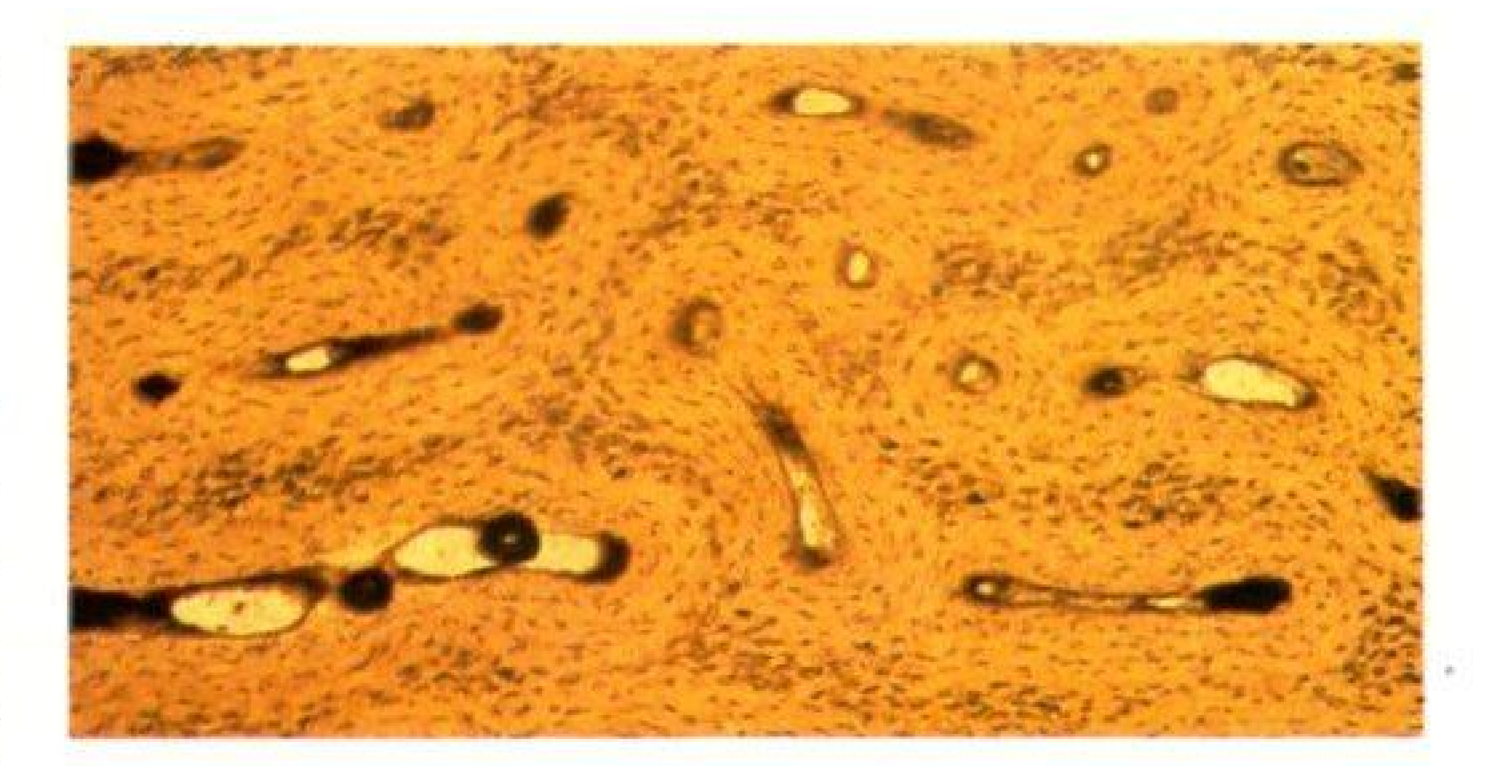
El problema que quedaba de la interpretación sobre los stegosaurios era el debate sobre la endotermia o la ectotermia. Ambas facciones esgrimían las placas de estos animales como argumento en su defensa. Se consideraban, por un lado, como radiadores mediante los cuales los dinosaurios endotérmicos evitaban sobrepasar su temperatura corporal; por otro lado simplemente como una prueba de que estos dinosaurios funcionaban como gigantescos lagartos ectotérmicos utilizando sus placas para acelerar el calentamiento del cuerpo al sol. Estos argumentos están tan equilibrados que la prueba no pue-



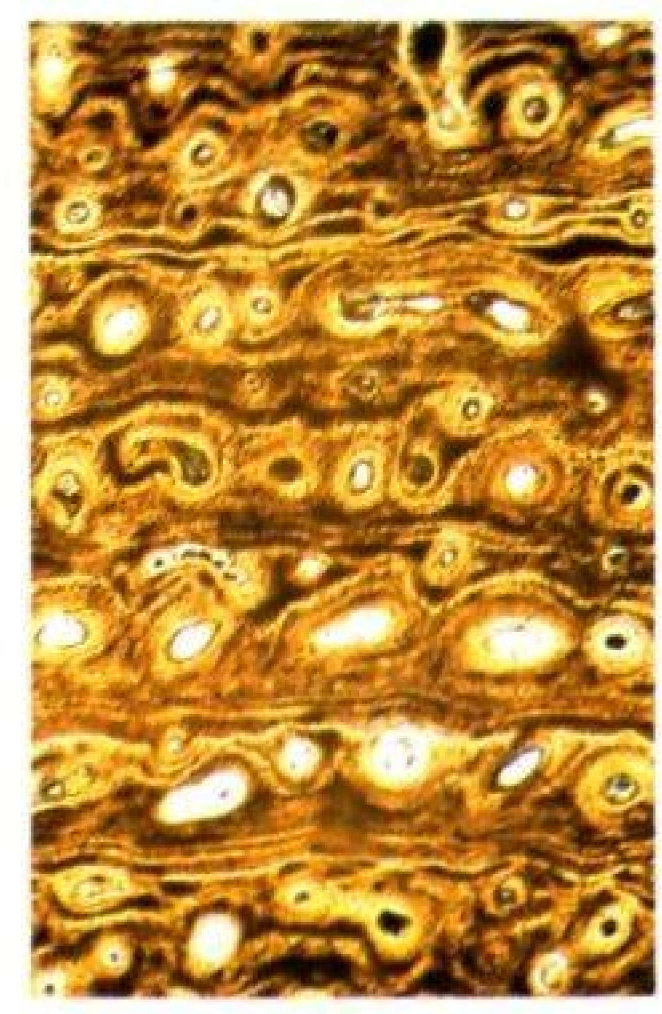
de realmente ser utilizada en su favor por ninguno de los dos bandos.

Cuellos y colas

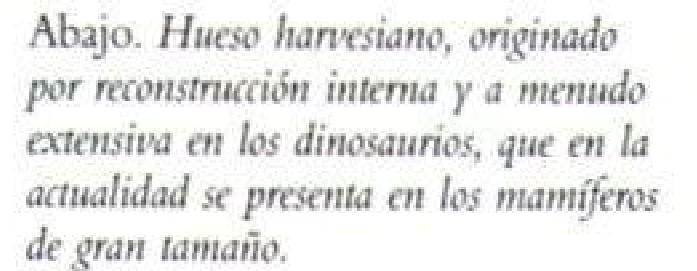
Otro argumento que hacía referencia a la ganancia o pérdida térmica de los dinosaurios se ha encontrado exclusivamente en sus proporciones corporales. Los saurópodos, por ejemplo, son muy parecidos a los elefantes en lo que se refiere a sus proporciones físicas si no se tiene en cuenta el cuello y el rabo. Los elefantes, al ser criaturas de gran tamaño, no pueden perder el calor con rapidez por su piel, de modo que si desarrollan gran actividad y su temperatura asciende comienzan a sacudir las orejas con gran fuerza para librarse rápidamente del calor sanguíneo; es ésta una de las razones por las que las orejas de los elefantes son tan grandes. Los saurópodos no desarrollaron grandes orejas externas, pero tenían un largo cuello cilíndrico y una cola que les permitía disponer de una gran superficie por la que desprender y absorber calor, y puede que hicieran uso de ella después de haber realizado algún esfuerzo.



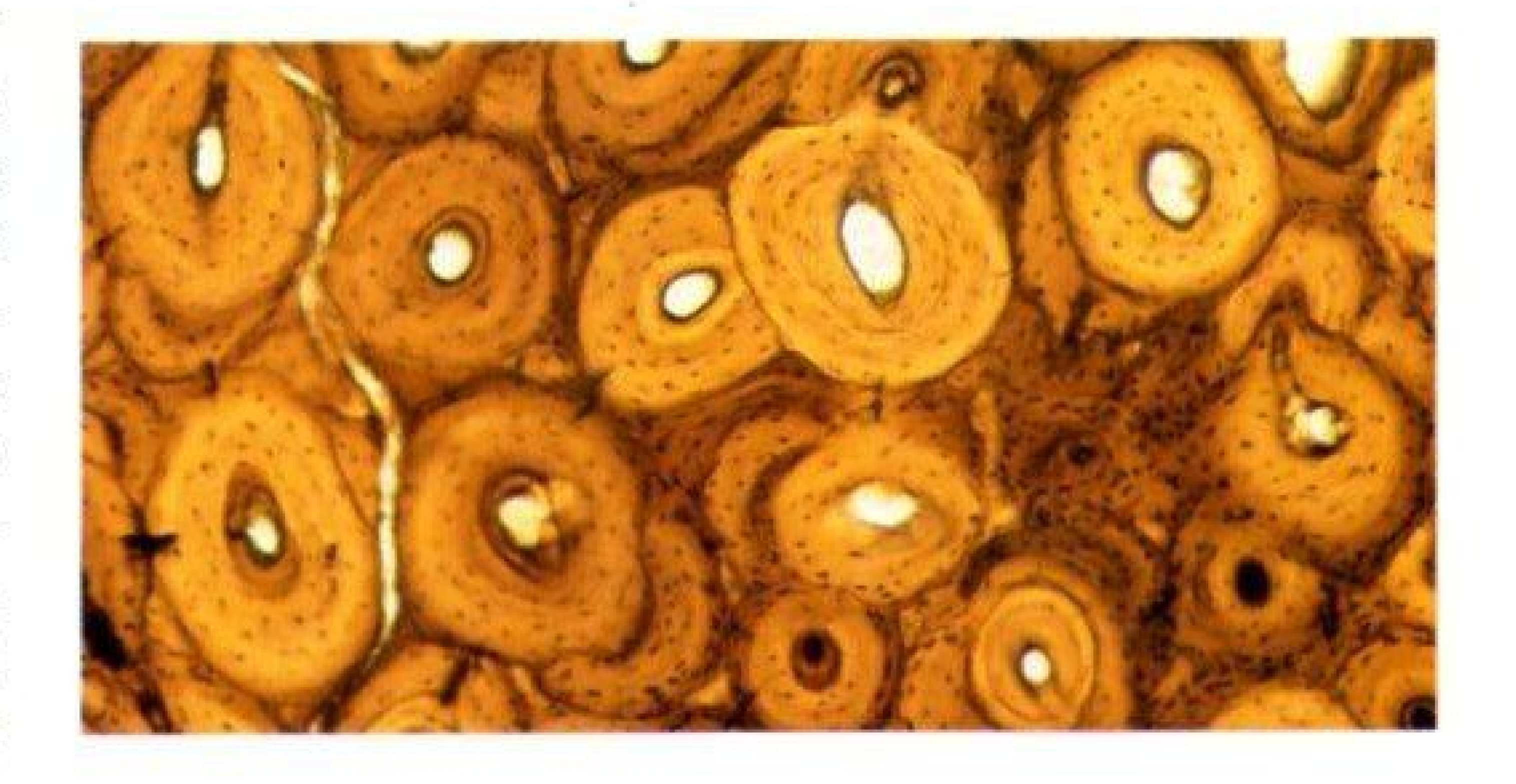
Arriba. *Muchos dinosaurios desarrollaban un hueso fibrolaminoso (sin anillos de crecimiento). En la actualidad se aprecia en mamíferos y aves de crecimiento rápido.*



Derecha. *Hueso zonal (con anillos de crecimiento) desarrollado por algunos dinosaurios durante su crecimiento. En la actualidad es característico de reptiles «de sangre fría».*



Abajo. *Hueso harvesiano, originado por reconstrucción interna y a menudo extensiva en los dinosaurios, que en la actualidad se presenta en los mamíferos de gran tamaño.*



Estructura ósea

Es posible observar los tubos de los vasos sanguíneos en secciones finas de hueso de dinosaurio especialmente preparadas. Estas secciones también pueden utilizarse para extraer conclusiones sobre la fisiología de esta criatura. Algunos huesos, una vez seccionados y sometidos a observación microscópica, muestran denso tejido óseo con apenas tubos para los vasos sanguíneos. La diferencia numérica de vasos sanguíneos se corresponde de forma aproximada con la «actividad» desarrollada por el hueso —es decir, la rapidez con que fue producido por el cuerpo— y esto también se refleja en el nivel de actividad del animal. La tendencia de un endotérmico más activo, por ejemplo, es tener más vasos sanguíneos en el cuerpo que un ectotérmico (en términos científicos, el hueso sería más vascular).

Fue Bakker quien utilizó el argumento sobre la estructura ósea interna de la forma más externa para apoyar la teoría que clasificaba a los dinosaurios como animales «de sangre caliente». Como ya se ha visto anteriormente, las secciones de sus huesos se parecen más a las de un mamífero moderno que las de un reptil, así pues la conclusión que sacó fue que la fisiología de los dinosaurios era mamífera o, en otras palabras, endoterma. Afirmaciones tan categóricas fueron el detonante para que los paleontólogos desarrollasen una cuidadosa labor sobre la estructura ósea de los dinosaurios, sobre todo el profesor francés Armand de Ricqlès, de la Universidad de París, y en Irlanda del Norte el doctor Robin Reid, de la Queen's University de Belfast.

Al principio el profesor de Ricqlès apoyó firmemente la teoría de que la estructura ósea de los dinosaurios demostraba su fisiología endoterma. No obstante, un estudio continuado de estos huesos y de otros de animales vivientes ha descubierto que la situación no es ni mucho menos tan fácil de zanjar como se pensó en un principio. Por ejemplo, en reptiles ectotérmicos vivientes se encuentran huesos altamente vasculares, mientras que en mamíferos pequeños y aves pueden encontrarse huesos de escasa vascularización, a pesar de que desarrollen altos niveles de actividad: este descubrimiento contradice totalmente las conclusiones de las que parte la teoría. Actualmente se piensa que un hueso denso con gran nivel de vascularización puede pertenecer a dos tipos.

El primero de ellos es el «hueso primario», que es el material que se forma en primer lugar cuando comienza el crecimiento del hueso. Un hueso está cubierto por una densa red de vasos sanguíneos que transportan materiales tales como fosfato del calcio, componentes del hueso mismo. Examinados bajo microscopio, estos huesos parecen como es lógico bastante vasculares. El «hueso secundario» sustituye gradualmente las capas de hueso primario desde dentro. Este tipo de hueso se forma cuando los canales se abren a través de las capas de hueso primario y nuevas tiras, finas como hilos, de hueso secundario se depositan en su lugar; estos canales se denominan harvesianos. Estas tiras de hueso secundario están especialmente diseñadas para resistir tensiones, y por ello parecen endurecer el hueso durante su crecimiento al tener que soportar el efecto de mayor peso y presiones musculares más fuertes ejercidas por el cuerpo.

Tras un examen detallado parece que los dinosaurios tienen todos los tipos de tejido óseo, y esto puede variar enormemente incluso dentro de un simple hueso, o también entre los huesos, dependiendo del papel que jugaran en la vida del animal. El doctor Reid ha demostrado que los dinosaurios son característicos por la canitdad de tejido de huesos primario en sus patas, lo que indica que crecían rápidamente cuando eran jóvenes. Más adelante parece que fue reemplazado por hueso secundario. Este proceso es muy parecido al de mamíferos y aves, y apoya la teoría de que los dinosaurios eran criaturas muy activas y de crecimiento rápido. Pero además se han encontrado anillos de crecimiento periódico en alguno de los huesos, más o menos parecidos a los anillos que pueden observarse en el tronco cortado de un árbol. Estos sugieren que algunos dinosaurios tendían a ser más activos en determinadas partes del año, creciendo por ello con mayor rapidez, y menos activos en otros momentos, disminuyendo su ritmo de crecimiento y depositando capas óseas con mayor lentitud, lo que ocasionaría las líneas alternas que forman los anillos. Este tipo de crecimiento corresponde más a lo que podría esperarse de un ectotérmico cuyos niveles de actividad son gobernados por los cambios estacionales. Esta prueba contradictoria ha sido utilizada para defender la teoría de que los dinosaurios, lejos de poseer una fisiología ectoterma típica de reptiles, o una fisiología similar a la de aves y mamíferos, tenían un sistema metabólico único.

Recientemente, y tras el trabajo llevado a cabo en América por el profesor de Ricqlès, se ha complicado la cuestión. El profesor Ricqlès estudió unas series de crecimiento de dinosaurios recogidas por el doctor John Horner, de la Universidad de Montana; su procedencia es la parte occidental de este estado. Este trabajo ha revelado de forma evidente que algunos dinosaurios crecían de forma extremadamente rápida cuando eran jóvenes, alcanzando el tamaño adulto tras una breve sucesión de estaciones. No obstante, una vez que han alcanzado su tamaño adulto parece que su ritmo metabólico (al menos en lo que se refiere al crecimiento) frenó rápidamente. Así pues se podría defender que los dinosaurios crecían con la misma rapidez que aves o mamíferos, pero que cuando alcanzaban su tamaño de adultos su nivel de actividad descendía de forma tan drástica que se parecía más al de los reptiles actuales. Robin Reid aporta a esta discusión que algunos de los huesos de dinosaurio cuyas secciones ha sometido a análisis indican que los dinosaurios seguían creciendo con altos niveles de actividad durante toda su vida, sin que haya señal de que se produjera un parón cuando llegaban a la edad adulta.

Hay que tener extremo cuidado antes de sacar conclusiones basadas en las primeras observaciones. La naturaleza es siempre más complicada de lo que imaginamos. Parece que los dinosaurios realmente eran capaces de alcanzar un ritmo muy rápido de crecimiento, paralelo al que se observa en la actualidad en aves y mamíferos. Hay alguna prueba de que los niveles de actividad de los dinosaurios no siempre eran altos de forma necesaria, una indicación de que pueden haber sido endotérmicos. Quizá la fisiología de estos animales era peculiar y exclusiva, como sugirió el doctor Reid, en vez de acoplarse a la que se conoce en mamíferos, aves o reptiles.

¿DINOSAURIOS INTELIGENTES?

Está en mente de todos lo simples que eran los dinosaurios, ¿pero tiene fundamento esta opinión? De esta cuestión se ocupó el profesor James Hopson, de la Universidad de Chicago, en los años setenta. Gran número de cráneos de dinosaurio se han conservado lo bastante bien para poder hacer en la actualidad cálculos del volumen de la caja craneal, la caja ósea en la que se aloja el cerebro dentro del cráneo. Teniendo en cuenta que el cerebro no tiene por qué ocupar todo el espacio de la cavidad cerebral es posible calcular el volumen aproximado del cerebro de una serie de dinosaurios. Las respuestas a las cuestiones que sugirieron fueron de gran importancia, pues el cerebro y su desarrollo controlan la actividad y la vida social del animal. Lo que es más, un gran cerebro necesita una temperatura corporal constante para mantenerse en perfectas condiciones de funcionamiento.

Los resultados fueron muy interesantes y sorprendentes. El tamaño del cerebro no tiene por qué crecer en proporción directa al tamaño corporal, y los saurópodos gigantes de cerebro relativamente pequeño no resultaron ser tan «cabezas huecas» como se pensó. Tenían un cerebro del tamaño que era de esperar en reptiles de su talla. Lo que es más, algunos de los terópodos más pequeños y ágiles y los ornitópodos tenían un cerebro excepcionalmente grande, más comparable en lo relativo al ta-

maño con el de aves y pequeños mamíferos. Algunos de los tipos más pequeños y menos ágiles, como stegosaurios y anquilosaurios, parecían tener un cerebro relativamente pequeño para su tamaño.

El promedio de los dinosaurios demostró no ser tan simple como podía suponerse teniendo en cuenta las afirmaciones de personas como Marsh (véase página XX). En todo caso tenían un cerebro de tamaño similar al de los reptiles modernos, y algunos parecen haber tenido un nivel de inteligencia más comparable al de mamíferos y aves. Es evidente que a mayor nivel de actividad, según indica la anatomía particular de un dinosaurio, más probable es que poseyera un gran cerebro.

¿CÓMO SE COMPORTABAN?

El tamaño cerebral y el control corporal llevan a uno de los temas más interesantes en el campo de estudio de los dinosaurios: su comportamiento y vida social. Durante los últimos veinte años se han incrementado desmesuradamente las pistas que permiten reconstruir algunos aspectos del comportamiento de los dinosaurios. Algunos han resultado ser sorprendentes.

La vida familiar de los ceratópidos

La primera oportunidad de adentrarse en la vida social de los dinosaurios la brindó el descubrimiento durante los años veinte de *Protoceratops* y sus nidos en Mongolia. Los huevos y nidos mostraban que estos dinosaurios prestaban especial cuidado al colocar sus huevos en anillos concéntricos antes de enterrarlos en túmulos. Además la presencia de muchos dinosaurios cerca de estos enclaves de huevos indicaba que en torno a los huevos se desarrollaba una considerable actividad social. La gran variedad de esqueletos también hizo posible llegar a conclusiones tentadoras sobre la forma de crecimiento de estos animales, especialmente mediante el registro de los cambios de proporción del cráneo y de la cresta con el aumento de tamaño; además permitió algún intento de determinar el sexo de al menos algunas criaturas.

Un seguimiento de los estudios sobre el *Protoceratops* realizado por el doctor Peter Dodson, de la Universidad de Pensilvania, hizo uso del análisis estadístico para confirmar la diferenciación sexual propuesta según las diferentes clases de cráneo y el tipo de crecimiento apreciable en estos cráneos. El paso siguiente fue una encuesta de los ceratópidos a gran nivel en colaboración con el doctor James Farlow, de la Universidad de Indiana, Fort Wayne. Se ocuparon en particular de la función de la gola y los cuernos de estos animales, características que les conceden su aspecto tan peculiar.

Durante bastante tiempo se había pensado que los cuernos y las golas de los ceratópidos no tenían otra función que la defensiva. El descubrimiento del *Tyrannosaurus* en rocas de la misma edad que el Triceratops parecía

Los hallazgos de nidos de huevos del Protoceratops *descubrieron que se disponían aproximadamente en círculos concéntricos. En algunos nidos se han encontrado más de treinta huevos, lo que parece indicar la posibilidad de que las hembras pusieran sus huevos en nidos comunales, lo cual sería señal de una cooperación social.*

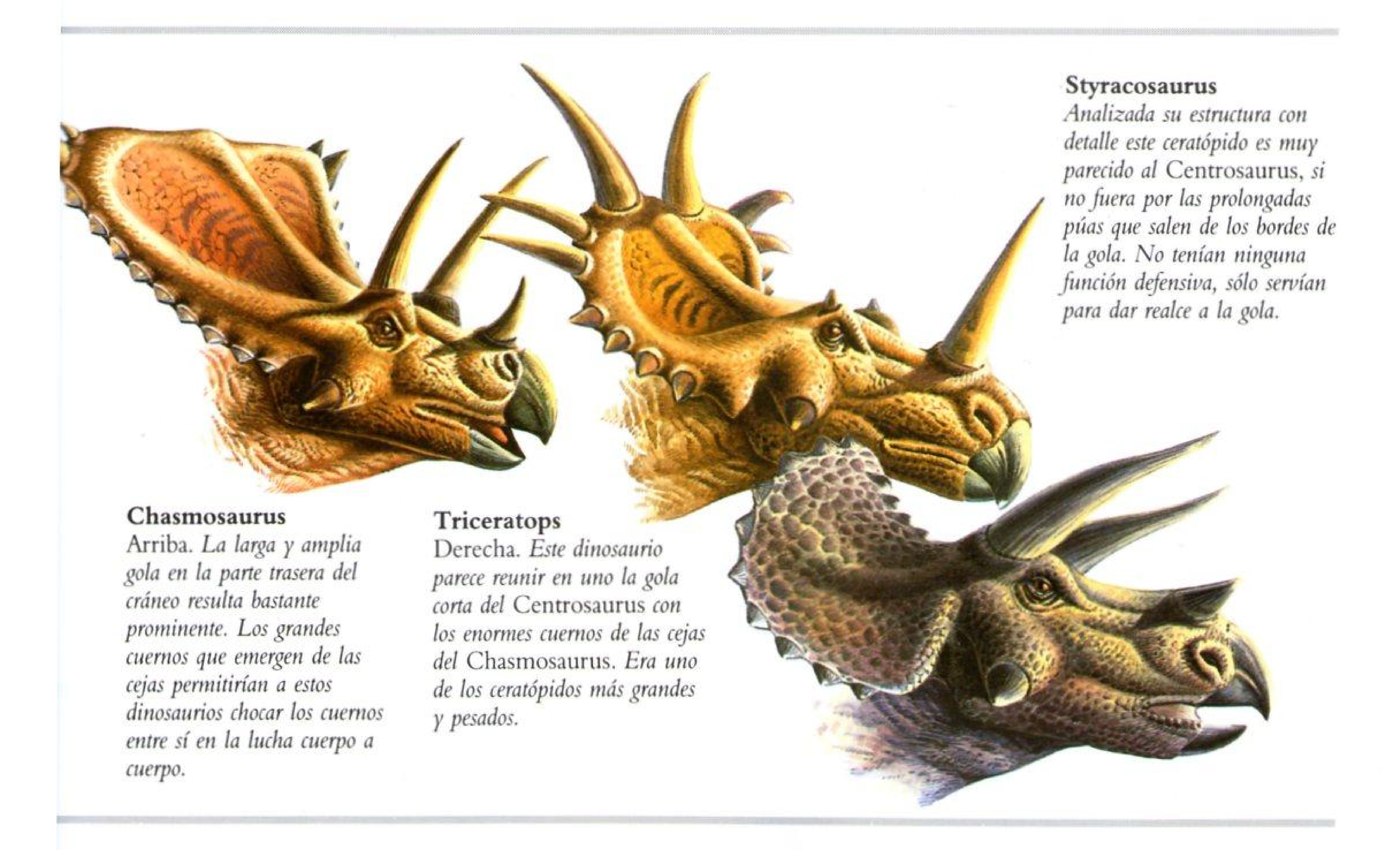


Una variedad de cráneos ceratópidos



Centrosaurus
Derecha. *El gran cuerno de este dinosaurio, parecido al de un rinoceronte, era sin lugar a dudas un arma defensiva de primera categoría, aunque dentro de la manada serviría como señalización.*

Pachyrhinosaurus
Izquierda. *La parte superior del morro tiene una gruesa protuberancia ósea en vez del afilado cuerno.*



Styracosaurus
Analizada su estructura con detalle este ceratópido es muy parecido al Centrosaurus, *si no fuera por las prolongadas púas que salen de los bordes de la gola. No tenían ninguna función defensiva, sólo servían para dar realce a la gola.*

Chasmosaurus
Arriba. *La larga y amplia gola en la parte trasera del cráneo resulta bastante prominente. Los grandes cuernos que emergen de las cejas permitirían a estos dinosaurios chocar los cuernos entre sí en la lucha cuerpo a cuerpo.*

Triceratops
Derecha. *Este dinosaurio parece reunir en uno la gola corta del* Centrosaurus *con los enormes cuernos de las cejas del* Chasmosaurus. *Era uno de los ceratópidos más grandes y pesados.*

apoyar la necesidad de una protección del cuello mediante la larga gola y los enormes cuernos defensivos. El problema, en realidad, era explicar la diversidad evidente de golas y cuerpos que apreciamos en los ceratópidos. El profesor Edwin Colbert, de Flagstaff, en Arizona, sugirió que la diversidad no era más que resultado del azar, pues cada ceratópido desarrollaría su propio diseño de cuernos y gola para protegerse contra los depredadores que lo rodeasen, de forma parecida a lo que ocurre con la variedad de cuernos de los antílopes africanos.

Una explicación totalmente diferente fue la ofrecida por el profesor Ostrom, de Yale, cuando sugirió que la gola en la parte posterior del cráneo servía como punto de anclaje para imponentes músculos de la mandíbula. Por desgracia, aunque esta propuesta no carecía de parte de razón, no explica la enorme variedad de formas de estas golas, pues una función muscular común tendería a la uniformidad, y el hecho de que algunos estén rematados en largas y elegantes púas, como es el caso del *Styracosaurus,* no queda justificado en absoluto por la existencia de músculos en la mandíbula.

Dodson y Farlow sugirieron en su estudio de los cuernos y las golas que el equipamiento del que disponían los ceratópidos variaba en función de su vida social. La observación de antílopes modernos apunta a que los cuernos, aunque útiles para la defensa, eran de fundamental importancia para su comportamiento. El tamaño y la forma proporcionaban señales que facilitaban el reconocimiento de individuos pertenecientes a una manada y establecían una jerarquía para el mantenimiento de territorios, especialmente por machos en época de celo. En las especies provistas de cuernos mayores, éstos podían utilizarse en pruebas de fuerza cabeza a cabeza, o simplemente como ostentación ante la presencia de un rival. Dodson y Farlow propusieron que éste era también el caso a gran nivel de los ceratópidos, propuesta que ha ganado total aceptación en la actualidad.

Ceratópidos pequeños como el *Protoceratops,* con cuernos óseos desafilados y crestas cortas, seguramente se enviaban mensajes ondeando en el aire sus pequeñas golas, haciendo descender la barbilla y moviendo la cabeza de un lado a otro. Si no bastaba con eso, puede que recurrieran a embestir contra el costado de los oponentes. Los ceratópidos más grandes pero con golas cortas, como el *Centrosaurus,* el *Monoclonius* y el *Styracosaurus,* tenían generalmente un solo cuerno sobre la nariz, de forma parecida al rinoceronte moderno. Esos cuernos serían mortales en la lucha. Para evitar esos combates a muerte es probable que estos animales se limitasen a mostrarse al enemigo, fanfarronear y realizar maniobras evasivas. Estas señales visuales serían de gran importancia, pues hay pruebas indirectas de que estos animales vivieron en ma-

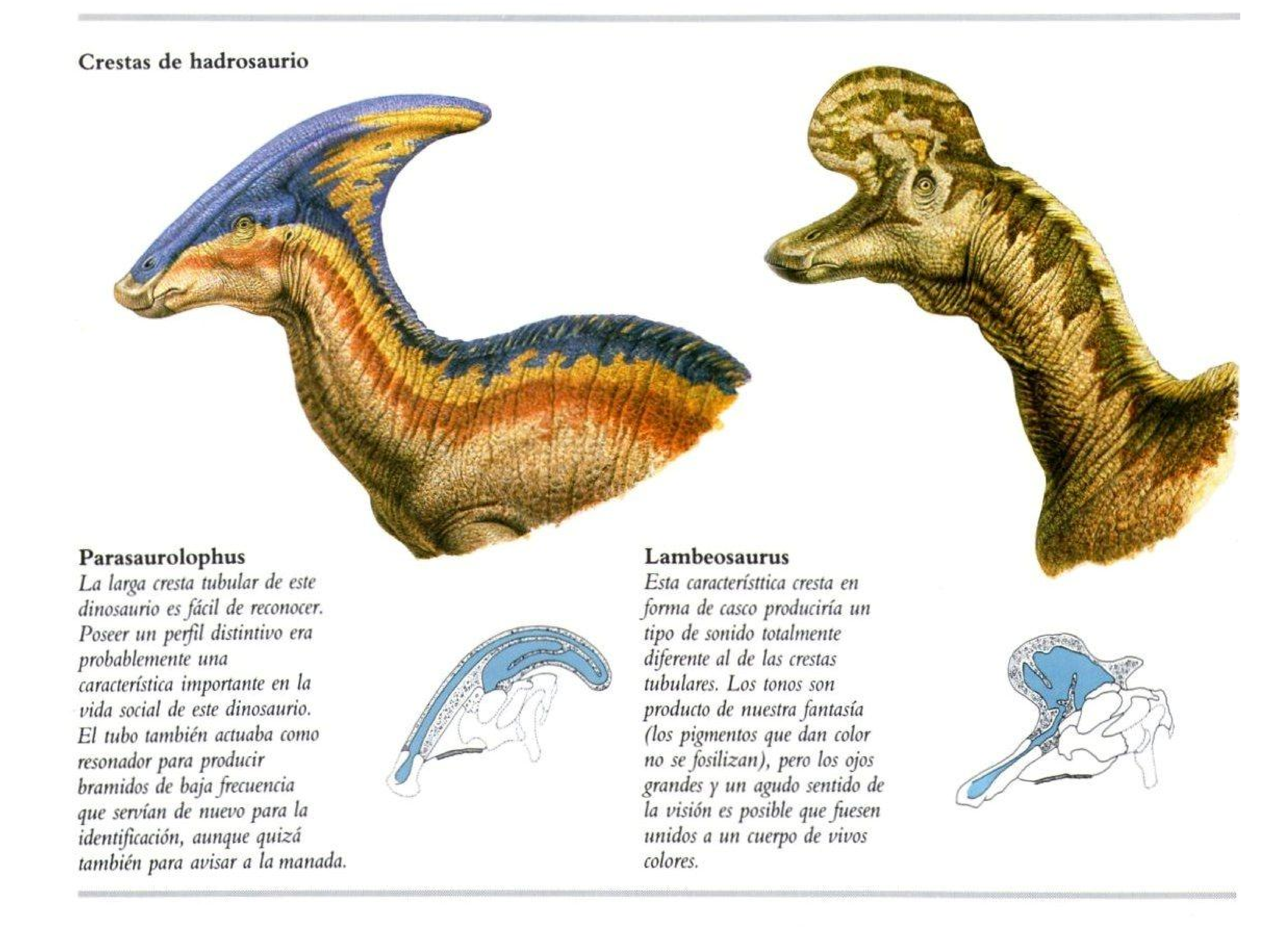
nadas muy numerosas durante el Cretácico tardío. La teoría también la apoya la gola del *Styracosaurus,* con sus largos y delicados cuernos que salen por los lados y que habrían sido fácilmente dañados en un combate serio, por lo que seguramente serían utilizados fundamentalme.ıte como señales visuales.

Las crestas de los hadrosaurios

Ceratópidos de gola larga, como el *Chasmosaurus,* el *Anchisaurus,* el *Torosaurus* y el *Triceratops,* poseían golas relativamente largas y un cuerno nasal bastante reducido, pero en las cejas tenían unos cuernos muy desarrollados. Meter la barbilla hacia adentro y sacudir la cabeza debe de haber sido suficiente para causar impresión, eliminando la necesidad del combate. No obstante, en el caso de que se produjese un empate entre dos individuos es posible que los dos cuernos de las cejas se uniesen para empujar y derribar en una prueba de fuerza.

Muchas de las teorías propuestas para explicar la función de las crestas de los hadrosaurios ya han sido discutidas anteriormente (véanse páginas XX y XX), pero la mayoría resultan insatisfactorias. A mediados de los años setenta el profesor James Hopson, de la Universidad de Chicago, se ocupó de ellas de nuevo. Defendió la idea de que estas crestas eran medios de señalización unidos a la vida e intercambio social de los hadrosaurios, y no tubos respiratorios o cámaras de aire. En un intento por demostrar la validez de esta teoría delimitó una serie de condiciones lógicas que tendrían que haberse cumplido si él llevase razón. En primer lugar, estos dinosaurios poseerían una vista y un oído muy agudos. El profesor Ostrom ya había demostrado la certeza de este punto. En segundo lugar, era importante que la forma de la cresta no se correspondiese con las cavidades del interior; en otras palabras, la forma externa era más importante que la estructura interna. Esto se cumple en algunos casos donde los pasajes de aire no tienen ninguna relación con la forma de la cresta, como ocurre con el

Crestas de hadrosaurio



Parasaurolophus
La larga cresta tubular de este dinosaurio es fácil de reconocer. Poseer un perfil distintivo era probablemente una característica importante en la vida social de este dinosaurio. El tubo también actuaba como resonador para producir bramidos de baja frecuencia que servían de nuevo para la identificación, aunque quizá también para avisar a la manada.

Lambeosaurus
Esta caracterísitica cresta en forma de casco produciría un tipo de sonido totalmente diferente al de las crestas tubulares. Los tonos son producto de nuestra fantasía (los pigmentos que dan color no se fosilizan), pero los ojos grandes y un agudo sentido de la visión es posible que fuesen unidos a un cuerpo de vivos colores.

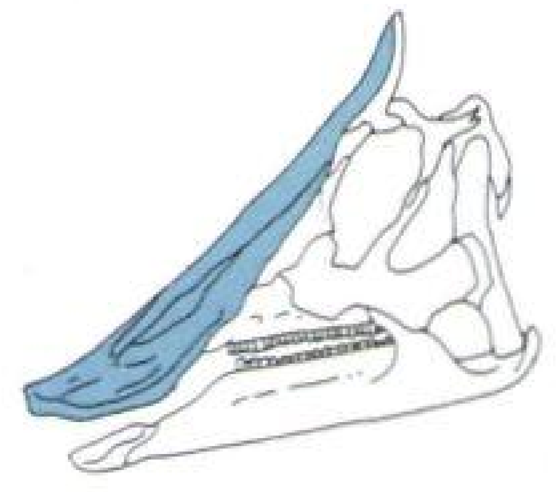
Lambeosaurus y el *Corythosaurus*. En tercer lugar, la forma de la cresta tendría que ser característica para cada una de las especies, y debería de haber alguna diferencia entre la cresta de un macho y la de una hembra. Esto lo había confirmado el trabajo de Dodson, que había analizado las proporciones de los hadrosaurios y señalado que una serie de restos estaban divididos en parejas macho-hembra. En cuarto lugar, era fundamental que en el caso de convivencia de varias especies se demostrasen diferencias radicales en la forma de la cresta para eliminar cualquier posibilidad de confusión entre los sexos de diferentes especies. Por último, predijo que con la evolución la forma de la cresta se haría cada vez más excéntrica. Esta predicción no parece haberse cumplido, pues algunos de los últimos representantes carecían de cresta.

A pesar de que su teoría no se cumple hasta el último detalle, Hopson parece haber acertado en gran medida. Su idea se desarrolló considerando la posibilidad de que la cresta tuviese además alguna otra función en el comportamiento de estos animales. Algunos dotados de una tosca protuberancia en la nariz, como es el caso de los kritosaurios, se pensó que harían uso de ella como arma en las pruebas de fuerza llevadas a cabo con otro macho. En aquellos con crestas más elaboradas parece probable que el comportamiento estuviese más ritualizado con el fin de evitar dañar estas estructuras tan complejas. Entre estas manifestaciones podrían incluirse sacudidas de cabeza, norma en la actualidad entre los reptiles, o la utilización de las crestas como resonadores para producir un bramido de gran volumen.

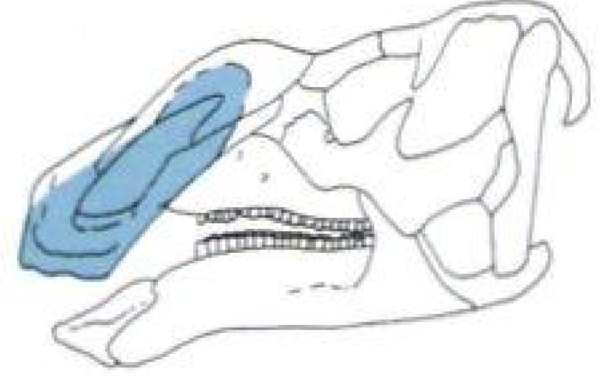
La prueba de que bramar era una posibilidad fue fruto de la labor del doctor David Weishampel, de la John Hopkins University de Baltimore, que construyó un modelo de la cresta del *Parasaurolophus,* un hadrosaurio, y la utilizó para generar el sonido que probablemente emitiese este dinosauruio hace setenta y cinco millones de años. Hay una disposición muy precisa de tubos en el interior de la cresta que producen una nota muy profunda y resonante. La profundidad de la nota puede ser importante por una serie de razones. Seguramente la nota era



Saurolophus
Esta cresta tiene la forma simple de un diente por la parte trasera de la cabeza. No es tubular, pero los lados de la cara delante de los ojos están ahuecados como para alojar una bolsa carnosa que podría haberse hinchado para formar un resonador parecido a la enorme nariz carnosa de los elefantes marinos.



Kritosaurus
La nariz aguileña de este hadrosaurio era gruesa y achatada, y no alojaba tubos de resonancia en su interior. Puede que no emitiese sonidos con la misma facilidad que otras especies, confiando en vez de ello en su aspecto físico.



distintiva, pudiendo ser reconocida por otros miembros de la misma especie, y en este aspecto el timbre puede haber jugado también un papel muy importante para establecer alguna forma de jerarquía dentro de la manada. Otro propósito de una nota de baja frecuencia es la de avisar ante la presencia de depredadores, alertando al resto de los miembros de la manada. Una nota de baja frecuencia puede recorrer grandes distancias, y también es difícil determinar su procedencia. Esto es muy importante pues lo último que un animal que diese el aviso querría que pasara sería verse rodeado de predadores.

La forma de las crestas de otros hadrosaurios es más desconocida, por ejemplo el *Lambeosaurus* y el *Corythosaurus,* y su sonido es más difícil de precisar. Por otra parte, algunos carecen de cresta, como el *Anatotitan,* el *Anatosaurus* y el *Saurolophus.* No obstante, estos representantes tienen unos ligeros hundimientos de gran anchura a los lados de la cara que bien podrían haber formado la base de grandes cañones nasales carnosos que actuarían como sacos de resonancia, de forma parecida a las narices hinchables de los elefantes marinos.

Nidos de hadrosaurio

En el año 1978 se produjo un descubrimiento de gran importancia. Esta vez no se trataba de una expedición; dos paleontólogos (el doctor Robert Makela y John Horner) encontraron en una cantera de Bynum, en el estado de Montana, los huesos de crías de hadrosaurio que habían sido excavadas cerca del lugar. El hallazgo fue el principio de una serie de acontecimientos que despertaría la atracción mundial por las formaciones rocosas de esta parte de Montana.

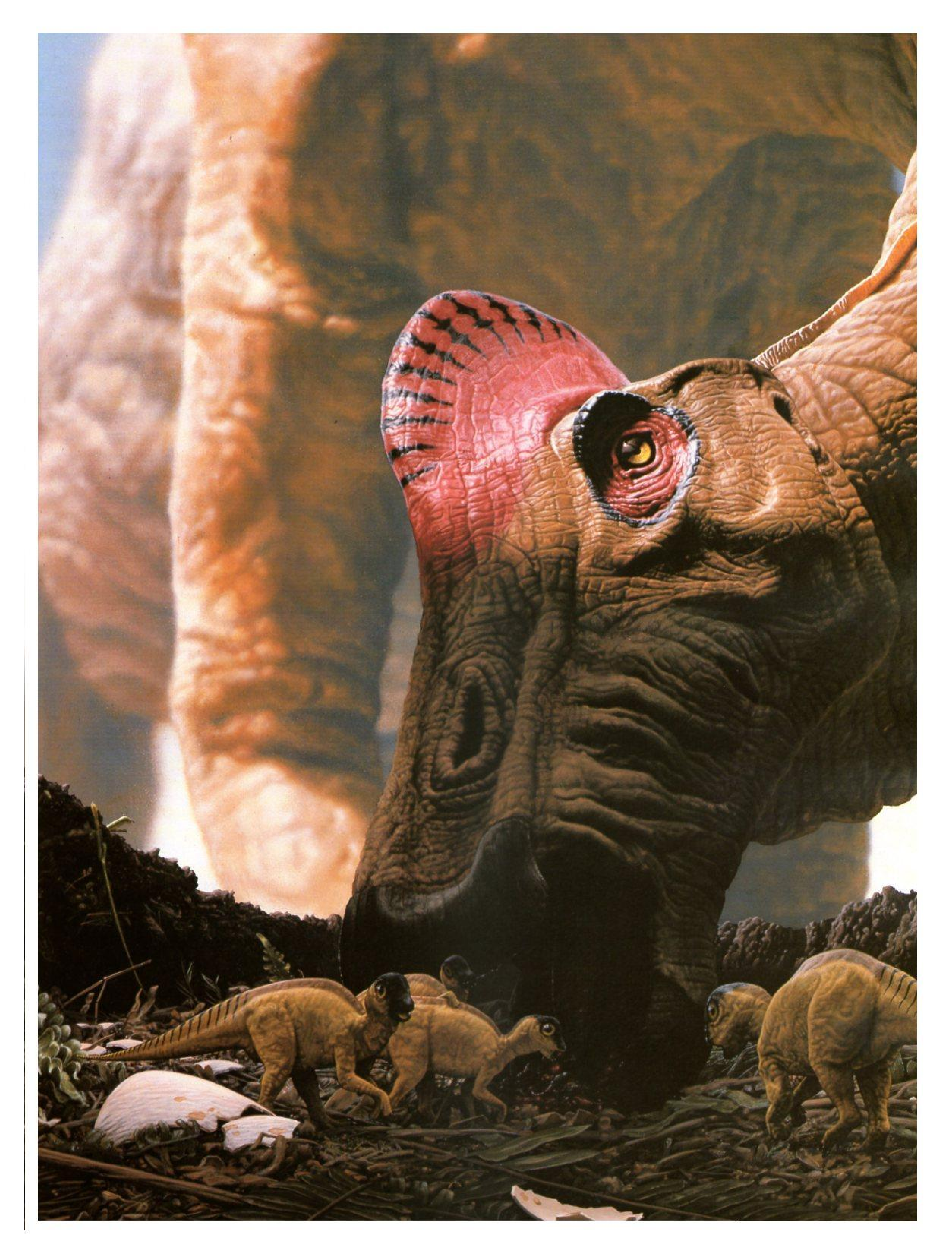
Makela y Horner siguieron el rastro hasta encontrar la procedencia original de estas crías de dinosaurio en las rocas del Cretácico tardío que forman una cadena de colinas bajas al suroeste de Bynum. De una investigación del lugar resultó el escubrimiento de no sólo huesos de crías de dinosaurio, sino también trozos de cáscaras de huevo y por último un nido completo en el que se alojaban mezclados restos de crías de hadrosaurio y cáscaras de huevo aplastadas. El nido era un hundimiento poco profundo en forma de cuenco que sin duda había sido cavado en el suelo, y parecía haber algún resto de vegetación asociado con él, quizá formando el nido. Este importante descubrimiento fue el punto de arranque de una labor de excavación que prosigue en la actualidad. Fue el primer hallazgo de un nido que todavía alojaba crías en su interior y que posibilitaría llegar a conclusiones sorprendentes sobre la vida social de los hadrosaurios y de otras criaturas que vivían en esta parte del mundo durante el Cretácico tardío.

Al año siguiente, en 1979, una cuadrilla organizada partió hacia Montana para recoger muestras de la misma área. Encontraron más zonas con nidos de hadrosaurio, y en una colina rocosa cercana, que recibiría posteriormente el nombre de «Montaña del Huevo», hallaron grandes cantidades de huevos de un tipo diferente de dinosaurio ornitópodo: un hypsilophodon que más adelante sería bautizado como *Orodromeus makeli.* Por si esto fuese poco, la cuadrilla también descubrió restos óseos en un área muy extensa, una capa de roca en la que se habían preservado los restos esparcidos de una numerosa manada de hadrosaurios que alcanzaba quizá la cantidad de cientos de miles. Más adelante se realizarían nuevos hallazgos, por lo que esta zona se ha convertido en una de las más ricas del mundo en restos de huevos y dinosaurios.

El hadrosaurio que había puesto esos huevos encontrados en Montana era desconocido para la ciencia y se le bautizó con el nombre de *Maiasura,* el nombre de una antigua diosa romana de la maternidad conocida también como *Bona Dea* o «buena diosa». El nombre se eligió muy a propósito haciendo referencia a lo que se encontró al examinar los huevos. Los nidos se habían hecho con especial cuidado ahondando la tierra para crear una cavidad grande. Parece ser que estaba rellena de vegetación blanda sobre la que se ponían los huevos. Los nidos destacaban por dos características. En primer lugar, porque las cáscaras de los huevos estaban rotas en pequeñas piezas, lo que sugería que los huevos habían sido pisoteados por las crías. En segundo lugar, éstas mostraban desgaste en los dientes, indicación de que o bien se les había alimentado en el nido o que lo habían abandonado para volver más tarde, prueba evidente de que los padres cuidaban de sus crías, dato que hasta ese momento no había podido ser probado entre los dinosaurios.

La prueba final, por si acaso no bastase lo anterior, de que este era el comportamiento aproximado de nidación de estos dinosaurios proviene de los nidos mismos. Los jóvenes habían muerto en algunos casos en su interior. ¿Si no cómo se explicaría la presencia de sus huesecillos en el nido? Quedaba claro que el instinto de los jóvenes por permanecer en el nido era muy fuerte. Quizá en este caso el padre o la madre habían sido matados mientras estaban a la búsqueda de comida para sus crías, quedando así éstas abandonadas a la muerte por inanición mientras esperaban pacientemente a que sus padres volvieran.

Paternidad del hadrosaurio
Esta imagen de un padre hadrosaurio cuidando de su hijo en torno a un nido cuidadosamente emplazado era impensable para la mayoría de los paleontólogos hasta hace por lo menos 12 años. El descubrimiento de colonias de nidos, fragmentos de huevos y la evidencia de que los hadrosaurios criaban a sus hijos en el nido proporciona una nueva idea acerca del comportamiento y la forma de vivir de los dinosaurios, idea que cambia radicalmente la visión aceptada de los dinosaurios.



Con el avance del trabajo realizado en Montana cada vez quedaba más claro que muchos de los nidos encontrados juntos estaban al mismo nivel geológico, de hecho habían sido construidos al mismo tiempo. Fue la constatación de que estos equipos habían descubierto no sólo unos cuantos nidos sueltos, sino toda una colonia de nidos de dinosaurio. Parece que los dinosaurios volvían a esta zona temporada tras temporada para poner sus huevos de forma parecida a como lo hacen las aves.

Si se une a este hallazgo la gran extensión cubierta de huesos que indica la presencia de enormes manadas de hadrosaurios en las cercanías, no será difícil llegar a la conclusión de que estos dinosaurios migraban en grupos numerosos a través de América del Norte durante el Cretácico tardío. Parece bastante probable que manadas enormes emigraran tras los ricos pastos a lo largo del año, volviendo cada estación a estas colonias de nidos para descansar, poner los huevos y criar a sus pequeños. El vivir en manada, anidar en colonias y la responsabilidad de la cría implican la existencia de una interacción social considerable entre estos animales.

Pero la historia no termina aquí. Junto con los nidos y huevos de hadrosaurio se encontraban nidos y huevos de otros dinosaurios con los que los hadrosaurios compartían territorio. Se ha descubierto que el *Orodromeus,* un hypsilophodon, también ponía sus huevos en un nido. Los huevos se encontraron en la «Montaña del Huevo» y un poco más lejos, en la «Isla del Huevo». Resultaron ser no menos interesantes que los que se encontraron de hadrosaurios.

Algunos de los huevos y nidos de *Orodromeus* se conservaban en condiciones óptimas. Parece que no fueron tan pisoteados, lo que en sí mismo ya era una pista. Un nido descubierto por Horner y su equipo estaba completo y consistía en diecinueve huevos dispuestos en una espiral exacta, con un sólo huevo situado de forma vertical en el centro del grupo y los otros apoyándose en serie hacia afuera a lo largo de la espiral. La deformación de todos y cada uno de los huevos era mínima, su estado de conservación era ideal. ¿Pero había algo dentro? La respuesta a esta pregunta vino de la mano de un escáner, la máquina que se utiliza para hacer radiografías minuciosas de la cabeza humana. El examen mostró huesos embrionarios. Los investigadores abrieron con gran cuidado uno de los huevos y extrajeron su contenido. Así el equipo de Montana conseguía otro de sus logros sin precedente: el primer embrión de dinosaurio en el interior de un huevo.

La comparación entre los huevos de hadrosaurio e hypsilophodon y su disposición aportó nuevos datos sobre la variedad de responsabilidad paterna en el mundo de los dinosaurios. Muchos nidos de hypsilophodon re-



Huevos y embriones de dinosaurio de Montana





Arriba. *La «Montaña del Huevo» ocultaba grandes cantidades de huevos de* Orodromeus, *casi intactos.*

Derecha. *Análisis realizados con un escáner han descubierto los huesos de un pequeño embrión en el interior de los huevos.*



Arriba. *Esta reconstrucción es un intento por revivir el «nacimiento» de un embrión de maiasaurio al salir del huevo. No se han encontrado embriones de este dinosauiro en el interior pues los huevos de los que no salieron crías fueron pisoteados por las crías durante los primeros días de vida que pasaban en el interior del nido.*

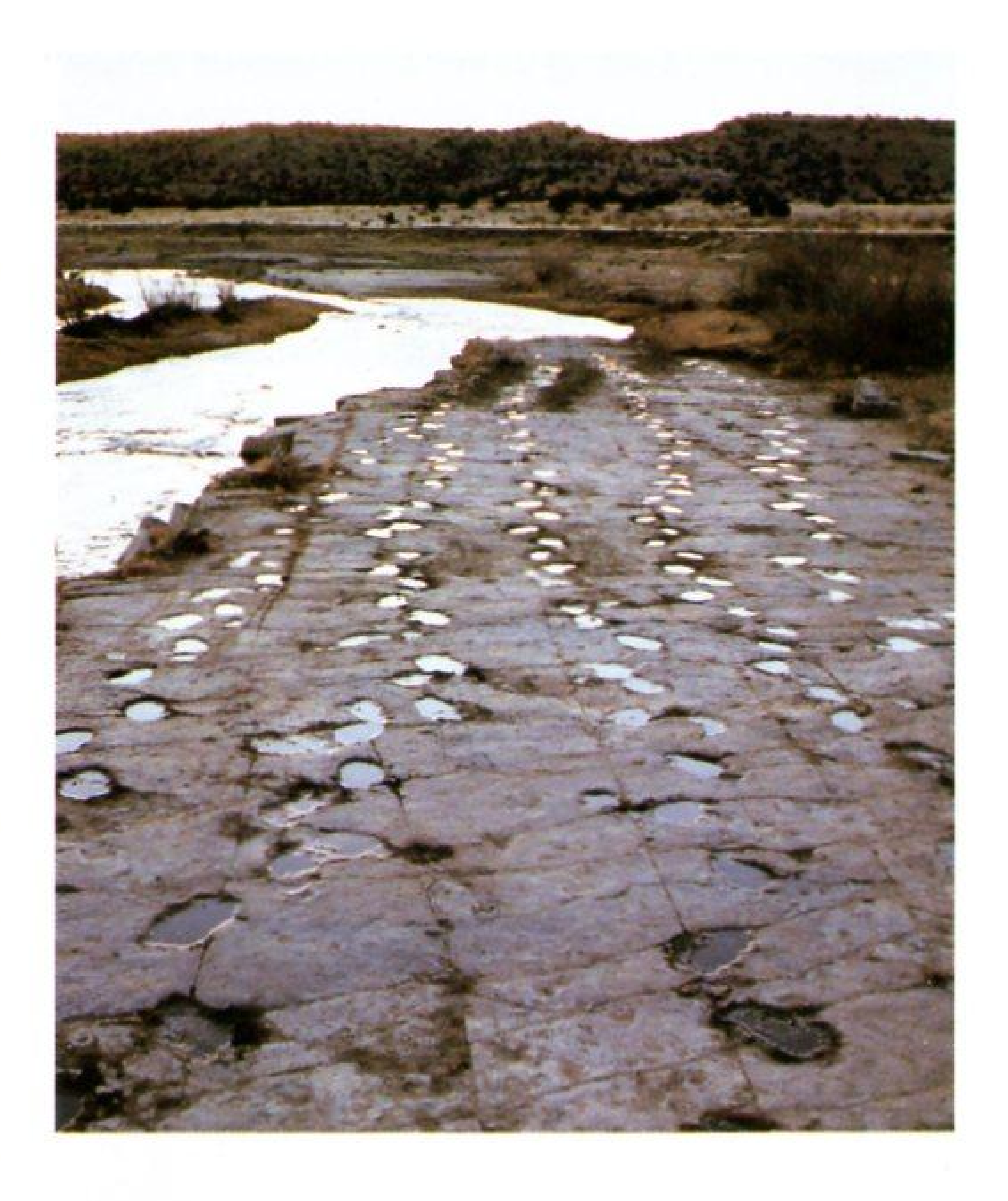
sultaron alojar huevos abiertos, pero intactos. Esto era una indicación de que los jóvenes, después de abandonar el huevo, no se quedaban en el nido (destrozando la cáscara), sino que lo abandonaban de forma inmediata. Lo cual implica que los padres se ocupaban poco, quizá nada en absoluto, de sus crías. Como ocurre actualmente con los reptiles, los huevos se ponían en el nido y después eran abandonados. Cuando los recién nacidos salían a la luz podían moverse inmediatamente y eran capaces de defenderse. ¿Pero había alguna prueba que demostrase esa teoría? La respuesta se encuentra en la estructura ósea del embrión de estos dinosaurios.

Las articulaciones entre los huesos de las patas del embrión de *Orodromeus,* visto por el microscopio, demostraba estar ya bien formado, listo para la acción, lo que se ajusta a la teoría de que abandonaban el nido justo después de romper el cascarón. Por el contrario, los embriones de maiasaura tenían unas articulaciones muy poco desarrolladas en las patas, y por consiguiente es probable que se vieran muy dependientes del nido después de su nacimiento, teniendo que ser sus padres quienes se ocuparan de su alimentación.

El terópodo *Troodon* también habitaba esta zona. Dientes, mandíbulas y esqueletos parciales de este veloz dinosaurio se han encontrado en o cerca de las colonias de cría de los dos ornitópodos mencionados. Sin duda se trataba de un depredador oportunista que se aprovechaba de las crías abandonadas o de criaturas débiles. Pero además de estos restos óseos también se han encontrado cerca algunos huevos muy curiosos, alargados y por parejas. Uno de estos huevos ha sido examinado y abierto y en su interior se ha encontrado parte del embrión de un *Troodon* diminuto. Es evidente que este depredador se aprovechaba de la relativa seguridad que ofrecía esta colonia de crías para poner sus propios huevos.

DE NUEVO LAS HUELLAS

Durante los últimos años se ha renovado el interés por las huellas de dinosaurios y las rutas que describen. Su historia se remonta a los albores de la investigación en este campo, pero gran parte del tiempo hemos sido inconscientes de su auténtico valor. Algunas han resultado interesantes por sí mismas, como las de un depredador en pos de su presa descubiertas por Roland T. Bird, o las de un saurópodo flotante que se daba impulso con ayuda de la pata delantera. No obstante, la falta de pruebas que confirmen con precisión a qué clase de dinosaurio pertenece una huella determinada —por ahora no hay restos de ningún dinosaurio que haya muerto de pie dejando sus restos sobre su propia huella— han hecho que el interés por estas huellas y la importancia que se les ha dado no haya sido destacable. Pero las huellas son, aparte de los huevos, la única prueba disponible de lo que hicieron los dinosaurios durante su periodo de vida.



Estas series paralelas de huellas las dejó un grupo de saurópodos cuando atravesaba una llanura de tierras bajas húmedas, prueba de que estos dinosaurios circulaban en grupos sociales.

Al frente del resurgimiento de este interés por las huellas de dinosaurio figura el doctor Martin Lockley, de la Universidad de Colorado, en Denver, quien en 1986 describió cómo se pueden utilizar las series de huellas para mejorar nuestro conocimiento de los dinosaurios y su biología.

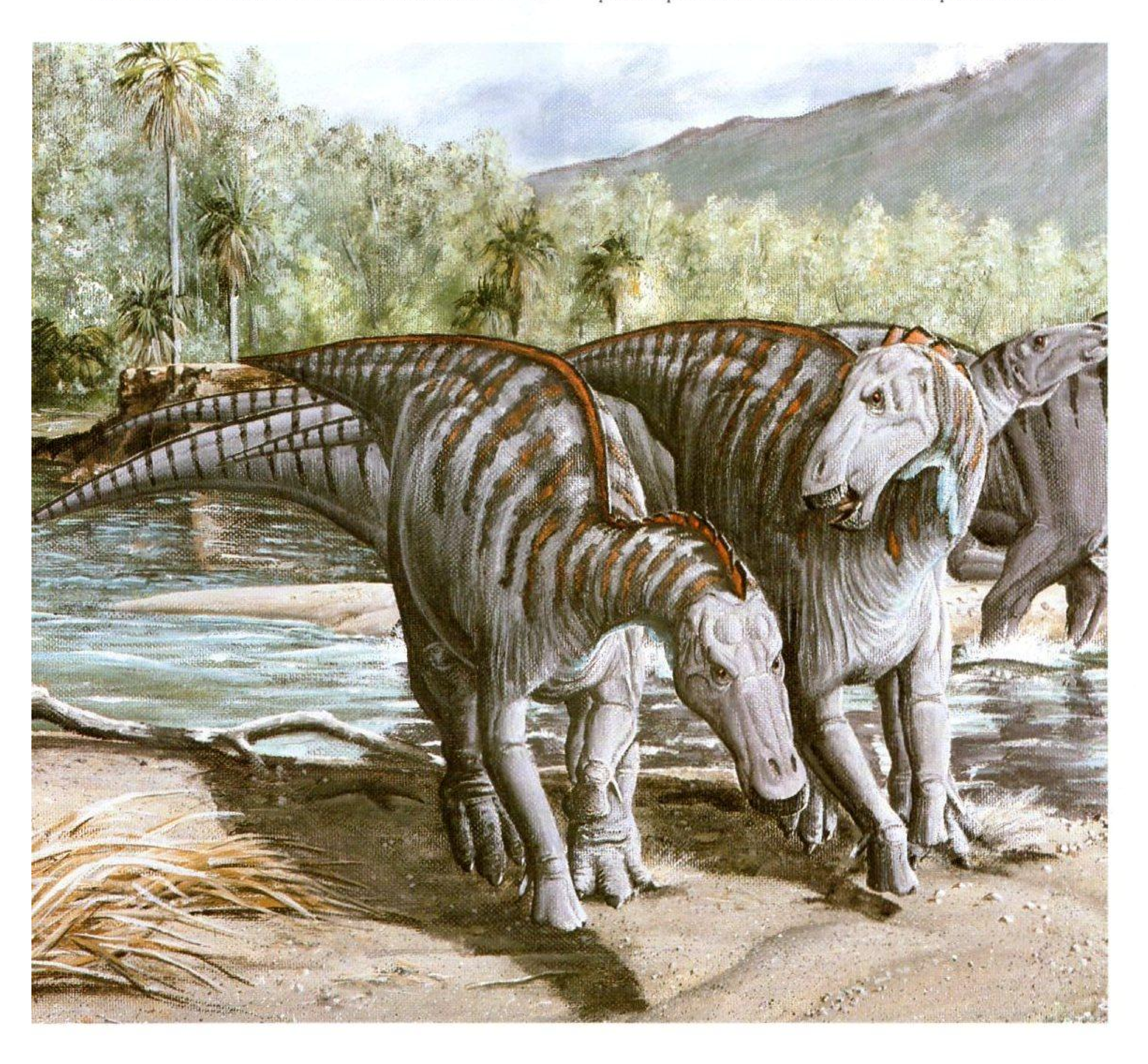
Las series de huellas proporcionan de forma directa pruebas de la postura y clase de movimiento de quien las dejó, recordemos la demostración que hizo Bird de que los saurópodos no caminan a cuatro patas. El ángulo en el que se mantienen las patas también es característico: por ejemplo, los terópodos tienden a tener patas que apuntan directamente hacia adelante, mientras que las de los ornitópodos están un poco metidas hacia adentro. Estas huellas también indican la velocidad a la que se movía un animal. Como sería de esperar, la mayoría de las huellas dan testimonio de la presencia de animales que caminan, pero hay algunas excepciones que indican que terópodos pequeños corrían velozmente. También hay pruebas que sugieren que los terópodos mayores pueden haber sido capaces de moverse a velocidades de treinta o cuarenta kilómetros por hora.

Las huellas también pueden aportar datos sobre las pre-

ferencias sociales de los dinosaurios. Un gran número de huellas en la misma dirección indica la formación en manadas, y en algunos casos es posible deducir la estructura de la manada, como sugirió Bakker respecto a los saurópodos que se movían dispuestos de forma que los jóvenes más vulnerables quedaban protegidos. De hecho, se están empezando a examinar con detalle las huellas agrupadas para ver si hay indicios consistentes de movimientos migratorios entre los dinosaurios. Esta prueba iría unida a la presencia de colonias de cría, hecho que sugiere que al menos los ornitópodos sí que migraban.

Las huellas quedan como testimonio para la posteridad cuando se reúnen determinadas condiciones medioambientales. El suelo debe ser bastante blando para que se queden en él impresas, indicio también del tipo de suelo y del clima. Esta información, junto con otras averiguaciones, aporta datos de utilidad sobre el entorno. Por ejemplo, los dinosaurios podían remover la superficie del terreno hasta niveles impensados, fenómeno conocido como «dinoturbación». Además, si las huellas de gran número de animales se descubren en el mismo sitio, posibilitan poder recrear una imagen fidedigna de la fauna local.

Remover la superficie del terreno puede tener también otro efecto, aunque menos obvio, que se refleja en las plantas que crecen en las zonas afectadas por manadas de



dinosaurios arrasadores. Las plantas de flor, cuya evolución se produjo a principios del cretácico, se reproducen con gran facilidad. Pueden repoblar de nuevo zonas que hayan sido destrozadas, como la maleza que surge de un jrdín recién cavado. El aumento numérico de dinosaurios herbívoros durante la segunda mitad del Jurásico y principios del Cretácico puede haber asestado un golpe importante sobre las plantas sin flor que eran la base de su dieta. Esta acción sobre el suelo proporcionó condiciones ideales para la reproducción de las plantas de flor, de reproducción más rápida, y consiguientemente la evolución de nuevos tipos. En ese caso los dinosaurios serían responsables de parte de la diversidad de plantas que se ven en la actualidad en nuestro entorno.

La evolución de los dinosaurios también puede estudiarse a través de sus huellas. Por ejemplo, se han encontrado unas huellas que parecen pertenecer a un dinosaurio del Triásico medio; estas huellas son poco comunes (no constituyen más que el tres por ciento de las huellas conocidas hasta el momento) e indican quizá la presencia de uno de los primeros y más peculiares tipos de dinosaurio del que todavía no se han encontrado restos fósiles. También ha sido posible trazar el incremento de sauropodomorfos en el Jurásico, además de la posterior abundancia de ornitópodos en el periodo del Cretácico tardío; todo ello sin contar con restos fósiles. Todas estas correspondencias aumentan la esperanza de los investigadores de poder estudiar un cambio evolutivo a mayor escala.

¿MIGRABAN?

En 1985 un equipo de investigadores de la Universidad de California, en Berkeley, dirigido por el profesor Bill Clemens descubrió huesos de dinosaurio en los sedimentos cretácicos de la North Slope de Alaska. Los huesos pertenecían principalmente a hadrosaurios, pero también se encontraron algunos dientes de tiranosaurio y troodon. Después, en 1989, un grupo de investigadores al servicio del Servicio Topográfico Británico para la Antártida, en el que se encontraba el doctor Jerry Hooker, del Museo de Historia Natural londinense, descubrió el esqueleto parcial de un ornitópodo en este continente. De nuevo las rocas pertenecían al Cretácico tardío. Esta nueva aportación sitúa a niveles aproximados la distribución de dinosaurios en los círculos ártico y antártico, y despierta de nuevo la polémica sobre la fisiología de los dinosaurios: ¿Necesitaban ser «de sangre caliente» para sobrevivir a esas condiciones tan extremas?

Es probable que los hadrosaurios migrasen de norte a sur dependiendo de la estación del año. Esta pequeña manada de Telmatosaurus *habitaba Centroeuropa durante el cretácico tardío.*

Los periodos invernales de los dos hemisferios serían largos, con prolongados periodos de oscuridad, mientras que el verano sería luminoso gran parte del día. Las condiciones climáticas invernales serían cruciales para la supervivencia de cualquier animal a esta latitud, pues la mayor duración de los periodos oscuros tendría como consecuencia temperaturas más bajas y la disminución importante de la despensa natural, en particular para los herbívoros.

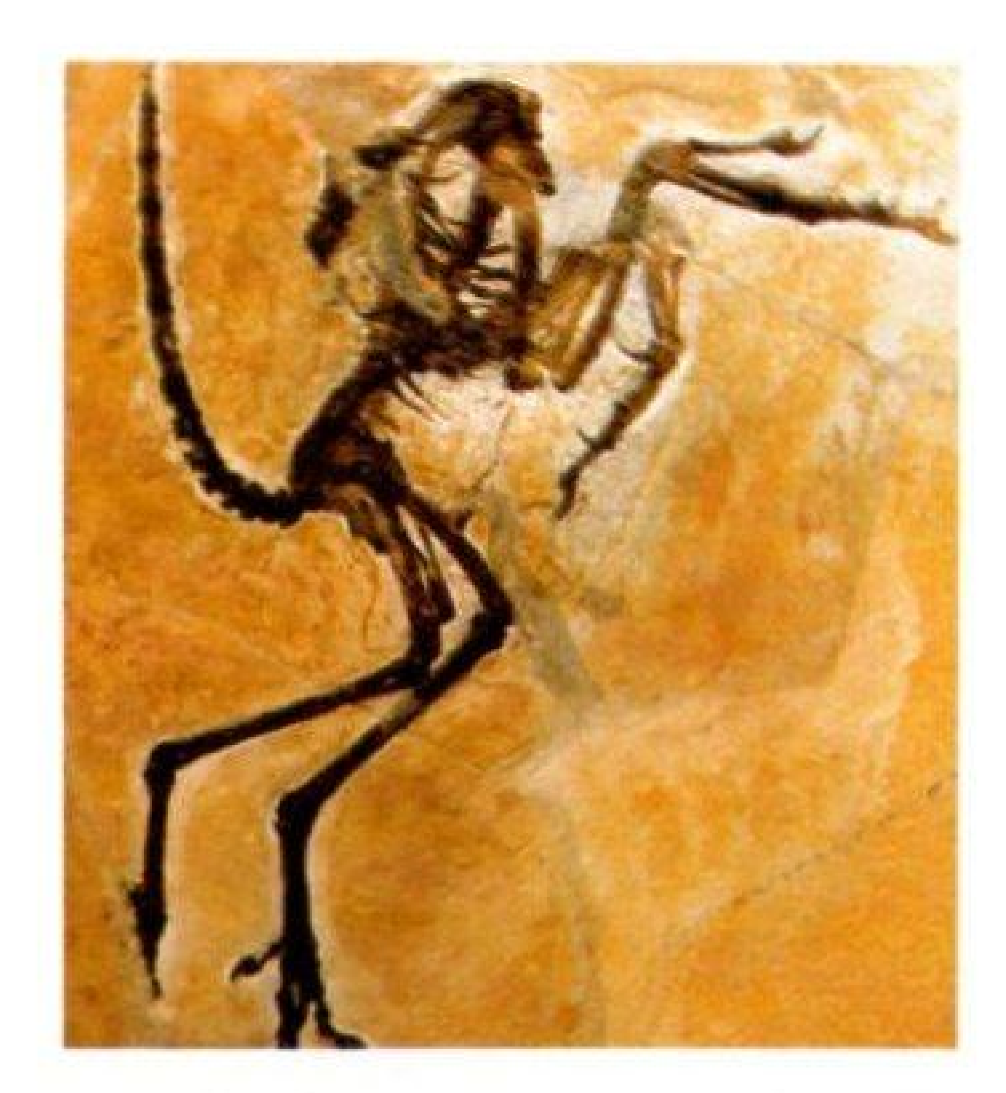
¿Podían sobrevivir los dinosaurios un invierno de estas características?, ¿tenían que ser endotérmicos como los mamíferos para sobrevivir? Antes de llegar a estas conclusiones habría que responder a dos preguntas. La primera es si los animales que vivían a esta latitud eran residentes permanentes o si sólo la ocupaban en verano. El equipo de Berkeley ha descubierto huesos de hadrosaurios jóvenes y adultos en el mismo emplazamiento, lo que parece indicar que estas criaturas estaban establecidas en este entorno. No obstante conviene observar que hasta la fecha no se han encontrado colonias de nidos o animales muy jóvenes, y como ha señalado el doctor Robin Reid, de la Queen's University de Belfast, los representantes más pequeños puede que no sean más que indicativos del tamaño mínimo requerido para que estos animales pudieran unirse a las manadas en su migración.

La segunda pregunta enlaza directamente con el debate sobre la endotermia y está relacionado con el aislamiento. Los dinosaurios de altas latitudes necesitarían una exclusión notable para impedir la pérdida térmica a través de la piel en condiciones climáticas frías. No hay pruebas de que la piel de ningún hadrosaurio estuviese cubierta de pelo externo, lo que hubiese sido de vital importancia para hacer frente al viento gélido. Tan sólo los mamíferos marinos presentan una capa de grasa. Todos los indicios, aunque débiles, parecen sugerir el carácter migratorio de estos dinosaurios.

Las plantas que crecían en la zona de Alaska en ese momento aportan pruebas adicionales que confirman esta opinión. El investigador británico doctor Robert Spicer, de la Universidad de Oxford, ha recogido gran variedad de flora de este área, lo que indica que la vegetación era muy exuberante y tenía marcado carácter subtropical. No obstante, también pudo demostrar que algunas de ellas eran de hoja caduca, es decir, perdían sus hojas en invierno. Esto implica que los pastos de dinosaurios como los hadrosaurios estarían totalmente pelados durante el invierno, mientras que en verano proliferaría la vegetación. Estos descubrimientos apoyan de forma consistente la migración de estos animales. Parece probable que los depredadores descubiertos entre los restos de hadrosaurios siguieran el rastro de grandes manadas de ornitópodos, de la misma forma que los lobos siguen a los ciervos.

EL ORIGEN DE LAS AVES

LA posible relación entre aves y dinosaurios, como se ha visto, ha sido objeto de polémica. En sus publicaciones de 1868 y 1870, Thomas Huxley propuso en un principio la posibilidad de que aves y dinosaurios tuviesen antepasados comunes. Esta opinión se apoyaba en el parecido que guardaban las patas de los dinosaurios con las de las aves, así como en el tamaño pequeño y aspecto de ave del *Compsognathus,* un dinosaurio del Jurásico. No obstante estas ideas quedaron rápidamente desfasadas por los acontecimientos. Durante las dos décadas siguientes se descubrirían muchos nuevos dinosaurios de aspecto decididamente nada parecido al de las aves. El profesor Harry Seeley (véase página 39) pudo demostrar que los dinosaurios no pertenecían a uno, sino parece ser que a dos grupos diferentes: ornitisquios y saurisquios. Esto ponía las cosas difíciles a los que defendían la descendencia de las aves de los dinosaurios, pues se planteaba el problema de la asignación a uno de los dos grupos. Gerhard Heilmann se encargó de rematar la teoría de Huxley en su detallada obra *The Origin of Birds,* publicada en 1926, en la que parecía demostrar que los dinosaurios, a pesar de su aspecto de ave, no podían ser considerados antepasados de las aves, pues carecían de la clavícula de la que éstas desarrollan la espoleta.



Hasta 1973 la opinión de Heilmann imperó entre paleontólogos y zoólogos. Si algunos dinosaurios se parecían a las aves, se estaba ante un ejemplo de evolución convergente, y no era una prueba de auténtico parentesco.

Los caprichos del destino hicieron que una pequeña zona del sur de Alemania jugase un papel principal en la investigación del origen de las aves. En esta zona, cerca de la ciudad bávara de Solnhofen, se encuentran varias canteras de piedra caliza. Esta caliza es de una calidad sorprendente y tiene la característica, excepcional para este tipo de piedra, de poder dividirse en finas capas con las que construir planchas litográficas para la impresión de ilustraciones.

La caliza de grano fino se depositó en una laguna de nivel variable muy tranquila en cuyo fondo la marea y el flujo del agua favorecieron la formación de finas capas de cal. Los animales y las plantas que después de muertos fuesen arrastrados hasta la laguna quedaban aprisionados en estas finas capas de piedra caliza y se conservaban como fósiles. Como resultado de ello, los fósiles que a menudo quedan al descubierto cuando los canteros extraen las losas se nos presentan a los ojos con gran riqueza de detalles. Las aves, al ser criaturas extremadamente ligeras y frágiles, no se conservan bien como fósiles y son muy difí-

Arriba. *La excepcional calidad de conservación que proporciona la calidad litográfica se aprecia en el más reciente descubrimiento de Archaeopteryx en Solnhofen.*
Derecha. *Una buena preservación fósil ha posibilitado la reproducción exacta del* Archaeopteryx, *como la de la foto, realizada por Arril Johnson para el Museo de la Ciudad de Bristol.*



ciles de encontrar. Más lo es todavía hallar la impresión de las plumas. Pero esta vez incluso estas huellas se han conservado en la plancha litográfica.

La clave para descubrir el origen de las aves es actualmente una especie concreta: *Archaeopteryx lithographica* (la primera palabra significa «ala antigua»).

EL PRIMER AVE

El primer resto encontrado de *Archaeopteryx* fue una pluma aislada magníficamente conservada; el hallazgo se produjo en una cantera cerca de Solnhofen en 1861. En aquel tiempo causó cierta sensación. Hasta aquel momento se pensaba que la historia fósil de las aves era muy reciente, pues sus restos (excepción hecha de las huellas del ave del Triásico encontradas en el Connecticut Valley por el profesor y reverendo Edward Hitchcock; véase página 52) son muy escasos o bien de los que se disponía provenían de roca más reciente, concretamente de la era Cenozoica. Este descubrimiento se hizo en rocas del alto Jurásico, y de un solo golpe la historia de las aves se situó cien millones de años atrás. La importancia de esta pluma aislada queda reflejada en el hecho de que fue descrita científicamente y recibió su propio nombre científico, *Archaeopteryx lithographica,* de mano de Hermann von Meyer al año siguiente. Poco después los trabajadores de una cantera descubrieron el esqueleto casi completo de un pequeño animal con plumas en la misma cantera.

La distribución temporal de estos hallazgos no podía haber sido mejor desde el punto de vista de los biólogos evolucionistas. Apenas habían pasado dos años desde la publicación del *Origen de las Especies,* de Charles Darwin. En esta gran obra propone una explicación de cómo las especies podrían haberse transformado o evolucionado con el transcurso del tiempo. Su teoría implicaba el mecanismo de la selección natural, que requería prolongados periodos de tiempo; también predecía la posible aparición entre los restos fósiles de animales intermedios que serían punto de unión entre animales que en la actualidad son totalmente diferentes. El *Archaeopteryx* reunía características de ave y de reptil al mismo tiempo, y parecía tratarse de un auténtico punto de contacto.

El revuelo causado por este segundo descubrimiento atrajo la atención del oficial médico del distrito de la cantera, el doctor Karl Häberlein. Obtuvo el fósil a cambio de las minutas que se le adeudaban, y ofreció a la venta una colección de restos, entre los que se incluía el *Archaeopteryx,* a cualquier museo por un precio sin precedentes, en concreto 127.000 pesetas. Se invitó a los posibles clientes a que examinasen la muestra de esta extraordinaria criatura, pero no podían tomarse notas ni hacer ningún dibujo.

Andreas Wagner, un conocido anti-darwinista de Munich, fue artífice de una de las primeras descripciones de la criatura teniendo como fuente principal los comentarios que se hacían y los borradores de la criatura hechos de memoria. Observó que el animal combinaba plumas con una larga cola ósea de reptil y dedos provistos de garras. Por ello sugirió que este animal era un reptil que había desarrollado plumas de forma independiente, y lo llamó *Griphosaurus,* un nombre tomado de la leyenda del grifo, un monstruo con cabeza y alas de águila y cuerpo de león. Wagner estaba deseoso de monopolizar la interpretación evolucionista de este fósil, por ello luchó encarnizadamente por demostrar que las plumas nada tenían que ver con las de las aves auténticas.

La descripción de Owen

No es de extrañar que la notoriedad alcanzada por las sorprendentes características de este animal atrajesen la atención de Richard Owen, quien en ese momento trabajaba como superintendente de las colecciones de historia natural del Museo Británico. El conservador de las colecciones de geología, George Waterhouse, fue enviado para intentar la compra de la colección de Solnhofen para el museo, lo que conseguiría al precio original. A los pocos meses de su llegada a Gran Bretaña Owen describió al *Archaeopteryx* en un trabajo científico presentado ante la Sociedad Real.

El ejemplar muestra una preciosa cola larga, a lo largo de cuya parte central se sucede una serie de huesos, característica ésta típica de los reptiles, pues un ave tiene una cola corta y achaparrada. A ambos lados de la cola se encuentra claramente un abanico de plumas. Las patas son largas y delgadas, y rematan en un pie con la forma que caracteriza a las aves. Cerca de la parte delantera del pecho hay una fuerte y bien conservada espoleta, lo que de nuevo parece ser un indicativo de la pertenencia de este animal a este grupo. Las alas muestran una cuidada disposición de plumas primarias y secundarias, como ocurre en cualquier ave. A diferencia de las aves la mano tiene tres dedos muy desarrollados provistos de agudas garras. La única parte que le falta a este ejemplar es la cabeza, que habría proporcionado mayores pruebas de la adscripción de esta criatura al grupo.

La interpretación de Thomas Huxley

Owen concluyó afirmando que se trataba sin lugar a dudas de un ave antigua, además de increíblemente interesante, pues mostraba una variedad de características de vertebrados primitivos que se habían modificado en aves posteriores.



Arriba. *El primer resto de* Archaeopteryx *descubierto fue esta pluma magníficamente conservada; el hallazgo se produjo en Solnhofen en 1861.*

Derecha. *No mucho tiempo después se descubrió un esqueleto casi cubierto de plumas. Lo compraría el Museo de Historia Natural de Londres y sería descrito por el profesor Richard Owen.*

Thomas Huxley, el gran adversario de Owen en la disputa sobre la evolución, no veía necesidad alguna de dar tanta importancia a si las características del *Archaeopteryx* eran comunes a los reptiles o a las aves. Se contentó con afirmar que Owen había cometido algunos errores anatómicos fundamentales al describir este fósil, al ser el mismo capaz de demostrar que la criatura tenía características tanto de ave como de reptil. Huxley, no obstante, no era demasiado entusiasta sobre su auténtico valor como escalón evolutivo intermedio, pues estaba convencido de que las aves habían evolucionado en la Tierra con anterioridad al Jurásico. El convencimiento total se lo habían proporcionado las huellas de grandes aves corredoras del Triásico descubiertas por Hitchcock. Esto convertía al *Archaeopteryx* en un miembro tardío del grupo, interesante por consiguiente, pero sólo como forma intermedia.

Lo más importante para el interés de Huxley era el evi-

dente parecido general entre aves y dinosaurios, testimonio también aportado por otros animales como el diminuto *Compsognathus,* encontrado también en Solnhofen. Esto podía ser utilizado como prueba del parecido de los dinosaurios con las aves, como oposición a sus afinidades con los mamíferos propuestas por Owen.

Más hallazgos

En 1876 se encontró otro ejemplar de *Archaeopteryx* en la misma zona de Alemania. Este ejemplar estaba incluso mejor conservado que el primero e incluía una cabeza extremadamente frágil al frente de un cuerpo perfectamente articulado, además de un plumaje maravillosamente conservado. En la actualidad forma parte de las colecciones del Museo de Berlín de Historia Natural. El nuevo ejemplar confirmaba la mezcla de características de reptil y ave, pues la mandíbula no estaba bordeada

El ejemplar de Archaeopteryx *de Berlín, descubierto en 1876, se conserva de forma sorprendente y tiene un excelente cráneo. La riqueza de detalles es mayor que en el ejemplar de 1861 y ha favorecido enormemente el avance en nuestro conocimiento sobre los lazos de unión entre las primeras aves y los dinosaurios. Demostró de forma concluyente que esta criatura primitiva cubierta de plumas alojaba dientes en sus mandíbulas.*



por un pico córneo de ave, sino provista de pequeños y afilados dientes parecidos a los de un reptil.

Desde 1861 se han encontrado en esta zona de Alemania un total de seis esqueletos, además de la pluma original. Algunos están completos, otros sólo se han conservado parcialmente. El más reciente, fue descrito por el doctor Peter Wellnhofer, de la Universidad de Munich, en 1988.

CONTINÚA LA BÚSQUEDA

Durante mucho tiempo ha estado viva la disputa sobre la procedencia de las aves de los reptiles. Aunque el eje de esta discusión haya sido el *Archaeopteryx,* también se ha hecho referencia a muchos reptiles.

Dinosaurios: 1868-1926

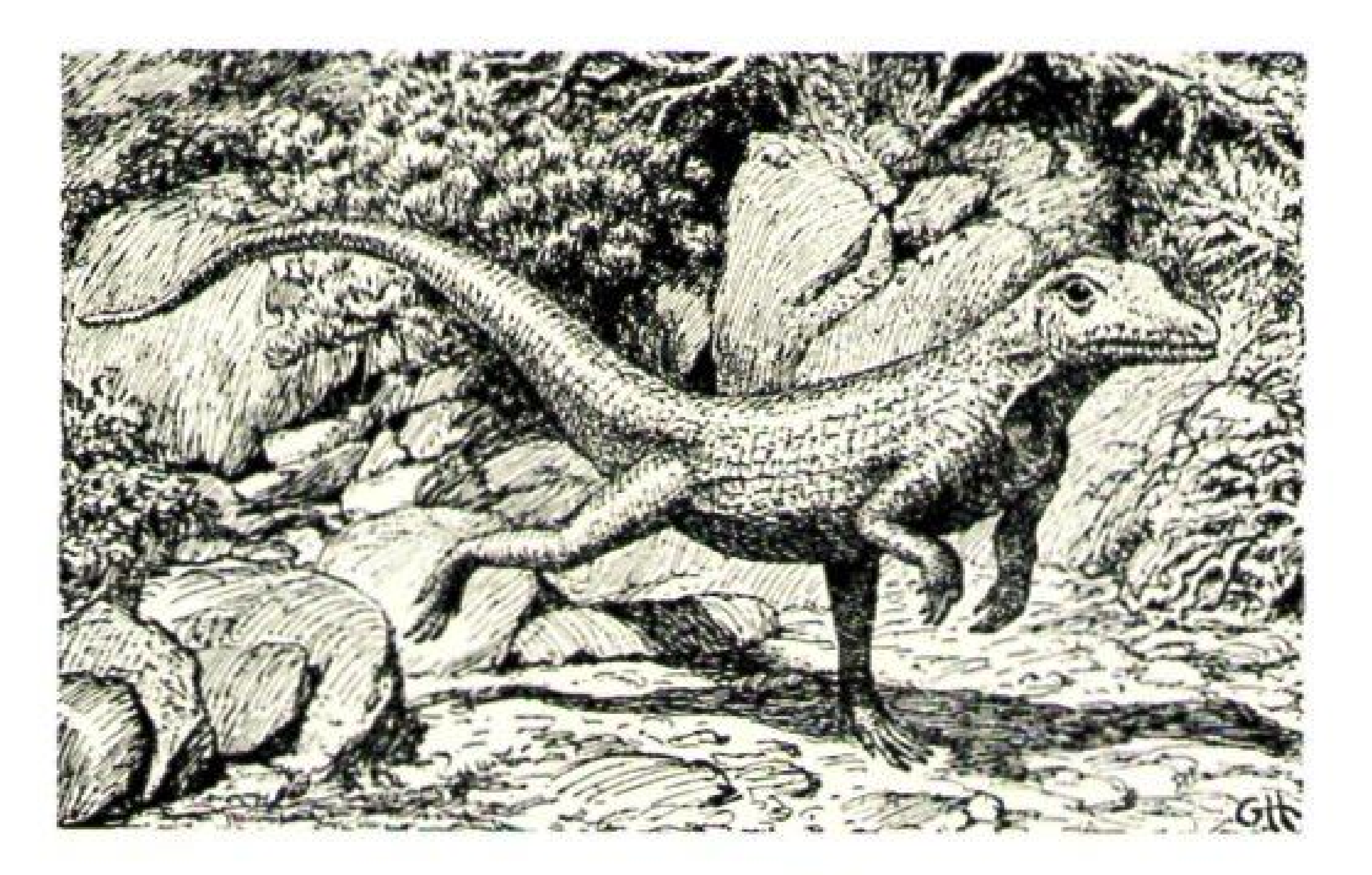
Durante dos décadas tras la exposición de Huxley en 1868 hubo fervientes defensores de los dinosaurios como antepasados de las aves. No obstante la aparición de nuevos y variados tipos de dinosaurio alejaba cada vez más su aspecto del de las aves. El trabajo de Heilmann, en 1926, asestó un duro golpe a esta teoría. Resulta irónico que el rechazo de este antepasado, factor este vital para comprender el mecanismo de la evolución propuesto por Darwin, fuese expresado por dos teorías evolucionistas que tenían el darwinismo como origen. En primer lugar la ley de Dollo, que mantiene que la evolución es irreversible, no sería cumplida si las aves hubiesen evolucionado de animales sin clavícula. Además el parecido anatómico entre aves y dinosaurios que a Huxley (uno de los seguidores más fieles de Darwin), entre otros, parecía tan convincente podía explicarse como producto de la convergencia evolutiva hacia un tipo parecido de vida.

Arcosaurios: 1926-1970

Heilmann seleccionó un grupo más general de reptiles, antepasados de dinosaurios, cocodrilos, pterosaurios y varios otros grupos, y a los que generalmente se denomina arcosaurios, que durante el periodo Triásico fueron abundantes. Algunos, como los *Euparkeria,* parecían relativamente ligeros y ágiles y al tener clavícula, no quedan descartados como posibles antepasados de las aves. La elección de estas criaturas tan tempranas como antecesores sugerían que las aves se remontaban a tiempos incluso anteriores al *Archaeopteryx,* como Huxley creyó. Esto aumentaba las posibilidades de que el *Archaeopteryx* hubiese sido un vástago de la línea principal de las aves, y quizá no tan característicamente primitivo como se pensara en un primer momento.

Dinosaurios ornitisquios: 1970

Tras un prolongado periodo de tiempo durante el cual



Heilman pensaba que las criaturas del Triásico como el Ornithosuchus, *pariente cercano del* Euparkeria, *eran posibles antepasados de las aves.*

los argumentos de Heilmann permanecieron irrebatibles, el doctor Peter Galton, de la Universidad de Bridgeport, en Connecticut, propuso de nuevo a los dinosaurios como antepasados de las aves. No obstante, más que proponer una ascendencia general de los dinosaurios, Galton eligió un grupo en concreto; la adjudicación a este grupo parecía obvia. Se trataba de los ornitisquios, los dinosaurios con pelvis igual a la de las aves.

Lo que Galton estaba haciendo era dar vida de nuevo a una teoría que había sido desechada en redondo por Heilmann en los años veinte. Si se lee su propuesta con cuidado se ve que Galton estaba siendo extremadamente cauteloso. Admitía que no se conocía hasta el momento ningún ornitisquio apto para reclamar la descendencia de las aves, entre otras razones porque todos son herbívoros y han desarrollado capacidades inconscientes con la anatomía de las aves. Así, para justificar su propuesta remontó el origen de las aves hasta los tiempos en que estaban evolucionando los primeros dinosaurios, y propuso un arcosaurio evolucionando o «protodinosaurio» con pelvis de ave como antepasado original de las aves. Cuando la teoría de Galton queda expresada en estos términos, no difiere en gran medida de la propuesta de Heilmann; por ello a los pocos años Galton tuvo que admitir que su teoría probablemente era errónea. Los restos fósiles no muestran de forma clara la existencia de protodinosaurios con características de ave.

Cocodrilos: 1972

Un paleontólogo británico, el doctor Alick Walker, de la Universidad de Newcastle, expuso en 1972 la estrecha relación entre las aves y un grupo de cocodrilos del Triásico. Se había ocupado del estudio detallado del *Sphenosuchus,* un cocodrilo del Triásico, y observó una sorprendente serie de características comunes en la forma y disposición de los huesos del cráneo de aves y muestras de este fósil. Esto le llevó a analizar con mayor detalle la es-

tructura de las aves y los cocodrilos de nuestros días. Así se descubrió la coincidencia de numerosas propiedades relativas a la estructura de los hombros, las extremidades delanteras y los tobillos de embriones de aves y cocodrilos. La teoría de mayor trascendencia que propuso como conclusión de esta meticulosa tarea fue que los antepasados de aves y cocodrilos parecían haber adoptado uno de estos dos modos de vida. Un grupo de cocodrilos de frágil estructura adoptarían el hábito de trepar a los árboles y finalmente se convertirían en aves, mientras que el otro evolucionó hacia una clase grande de anfibios y se convirtió en lo que ahora consideramos cocodrilos típicos.

Por fascinante que parezca su labor, no deja de extrañar que Walker decidiera ignorar al *Archaeopteryx* en las comparaciones que realizó entre cocodrilos y aves. A pesar de ello esta teoría ha conseguido el apoyo de algunos paleontólogos. De nuevo se observa una ligera modificación de las propuestas de Gerhard Heilmann.

De nuevo los dinosaurios: de 1973 en adelante

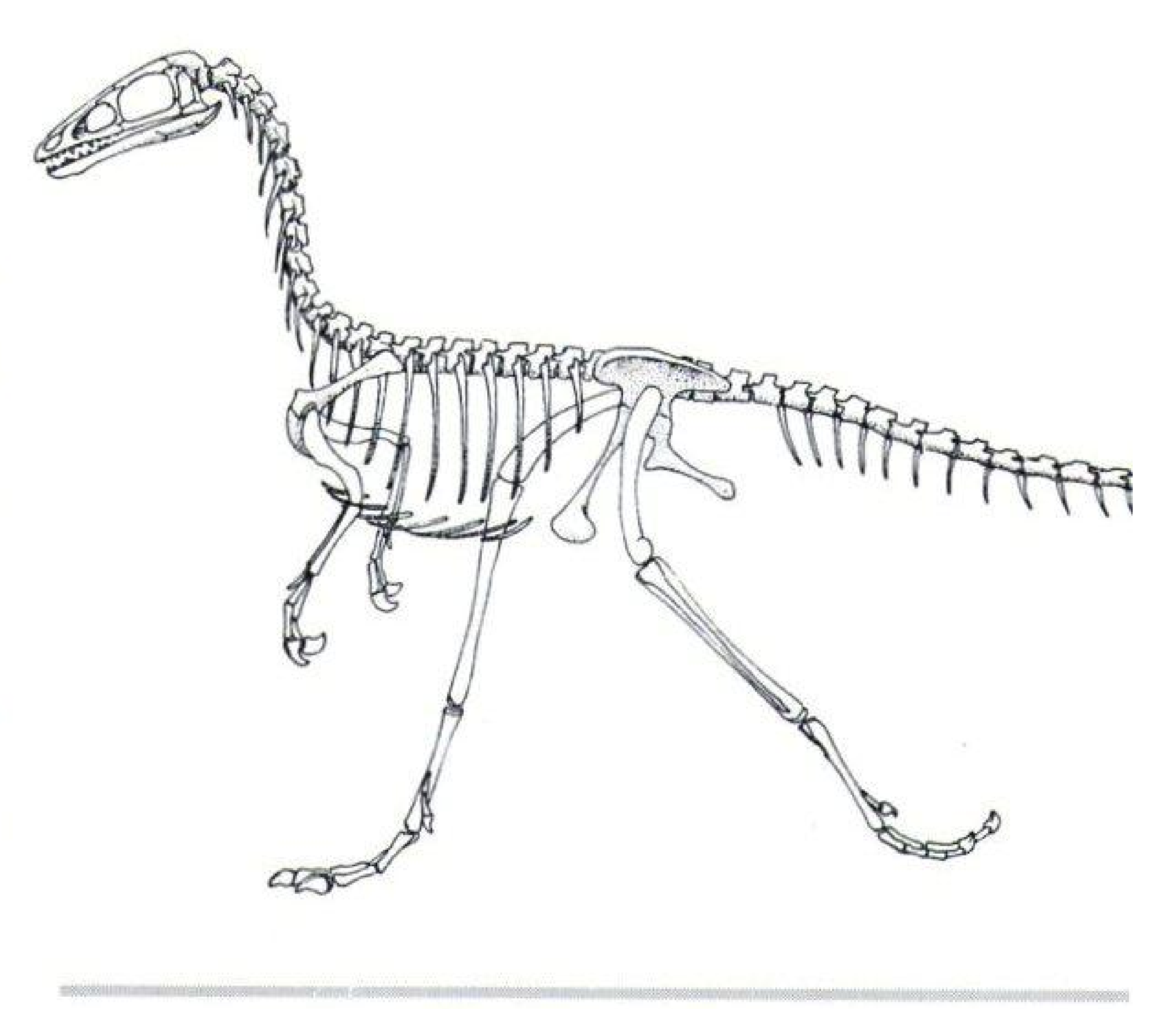
Durante los años sesenta el profesor John Ostrom estaba ocupado de lleno con la descripción detallada de la anatomía de un nuevo y llamativo terópodo: el *Deinonychus* (véase pag. 85). La peculiar naturaleza de este dinosaurio hizo necesario recurrir a los pocos terópodos de pequeño tamaño que se encontraban repartidos en las colecciones de todo el mundo. Entre estos dinosaurios figuraba la magnífica muestra del *Compsognathus,* uno de los pocos terópodos pequeños cuyos miembros se hallan intactos y procedente de la misma cantera de la que salió el *Archaeopteryx.*

Parece que a Ostrom le atrajo al *Archaeopteryx* después de que se descubriese un representante que anteriormente no pudo ser identificado. Se trataba de parte de una pata incrustada en una losa de piedra litográfica, y se pensó que pertenecía a un reptil volador (pterosaurio). Ostrom observó la huella de algunas plumas en la piedra y pensó que debía de estar ante un *Archaeopteryx.* No obstante también apreció cómo gran parte de los huesos de la pata se parecían a los de un terópodo. Este descubrimiento casual no sólo despertó en Ostrom interés por el *Archaeopteryx* como tal, sino también por las características que compartía su esqueleto con el de un dinosaurio.

A finales de los sesenta y principios de los setenta Ostrom examinó todas las especies de *Archaeopteryx* conocidas hasta el momento. Mientras tanto se reveló la existencia de un nuevo ejemplar, esta vez casi completo, en la colección de un museo alemán de Eichstatt. Descubierto en 1951, se había clasificado durante veinte años como si fuese un dinosaurio, concretamente el *Compsognathus.* La porción rocosa en la que se alojaba no tenía prácticamente ningún resto de plumas.

De los dinosaurios a las aves

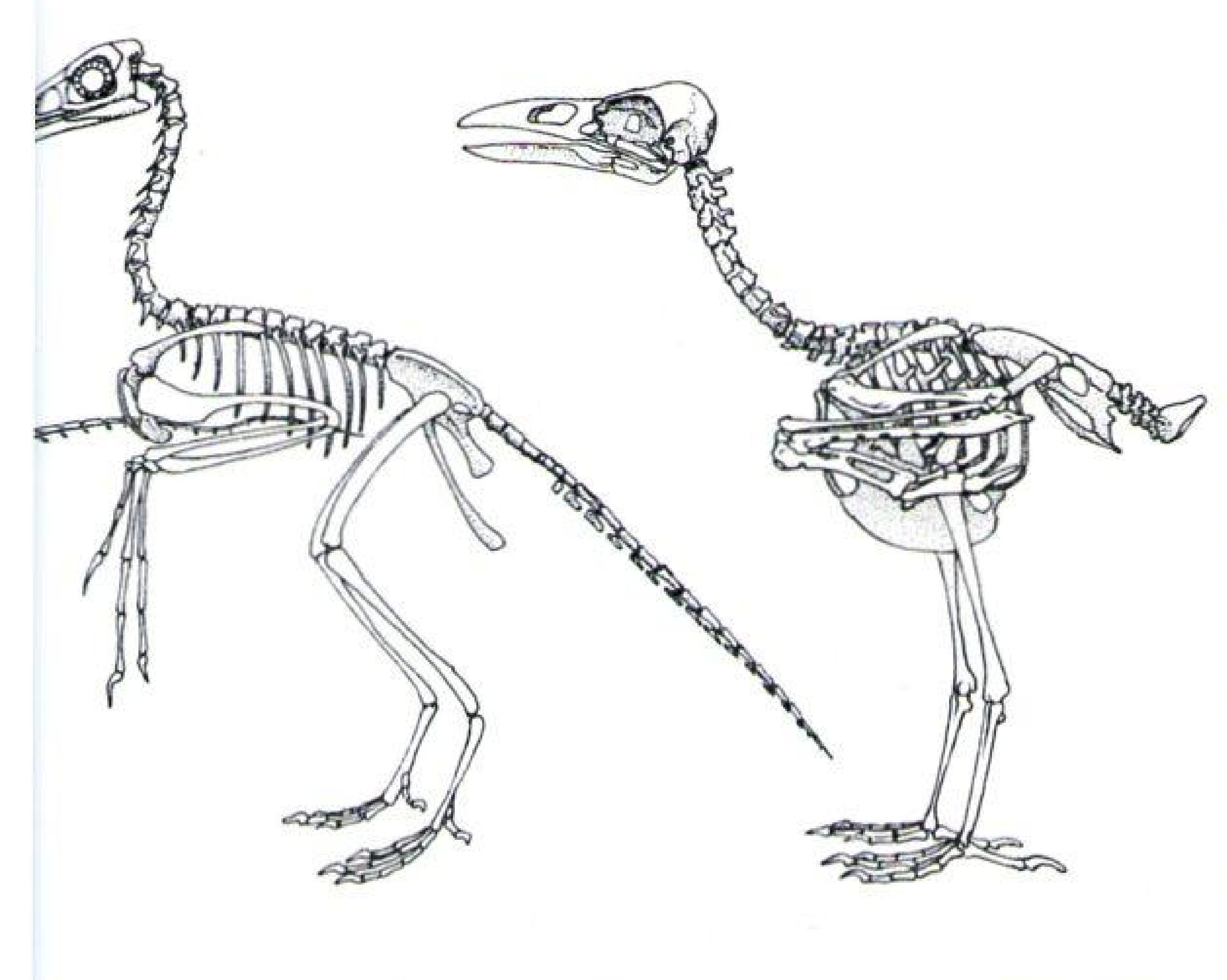
El Compsognathus, *terópodo de pequeño tamaño, muestra muchas de las características que asemejan a los pequeños dinosaurios carnívoros con las aves. La cabeza es baja y puntiaguda, las órbitas de los ojos son grandes, el cuello es largo, esbelto y curvo y el resto del cuerpo presenta una estructura delicada. Observe que los brazos son demasiado cortos si se comparan con los de las aves.*



Ostrom dedicó gran parte de su tiempo a repetir los pasos de Heilmann, pero esta vez con mayor detalle y ayudado por una cantidad de información paleontológica considerablemente mayor. Así pudo enumerar una serie de similitudes —veintiuna en total— entre los terópodos y el *Archaeopteryx,* todas ellas referidas a los huesos del cráneo, brazos, hombros, espalda, patas, caderas y cola. Destaca el parecido de brazos y patas de terópodos con los miembros del *Archaeopteryx.* El único obstáculo importante que Heilmann fue incapaz de superar en su época, la falta de clavículas, lo había eliminado el descubrimiento de pequeñas clavículas en forma de tira en una serie de terópodos a finales de los años sesenta y principios de los setenta, fundamentalmente como resultado de nuevos descubrimientos realizados por las expediciones polaco-mongolas en Mongolia. Esto concedió a Ostrom mayor libertad para prolongar los puntos de vista expuestos por Heilmann. En un informe escribió:

> Es más probable que el *Archaeopteryx* adquiriese el gran número de características «de terópodo» de-

El Archaeopteryx *(abajo a la izquierda) conjuga de forma sorprendente características de ave y de dinosaurio. Las mandíbulas, provistas de dientes, se parecen a las del* Compsognathus, *así como el resto del esqueleto, a no ser por sus largos brazos, la pelvis y las plumas. El* Corvus *(o cuervo, abajo a la derecha) es desdentado, tiene un esternón grande y la cola corta que caracterizan a las aves de nuestros días.*



rivadas por convergencia o de forma paralela al tiempo que algunos terópodos coelurosaurios las estaban desarrollando: ¿es de suponer que de un antepasado común?, ¿o es más probable que esta gran cantidad de características derivadas sean comunes a algunos terópodos pequeños y al *Archaeopteryx* porque éste evolucionase directamente de esa clase de terópodo? No me surge ningún interrogante sobre la mayor probabilidad de la última posibilidad.

Escoja la que quiera

Cualquier decisión final sobre este tema está basada en la preferencia particular por una idea o teoría concreta. Varios grupos de personas ocupadas con este tema han señalado los problemas que plantea la teoría de Ostrom sobre la cercana relación entre dinosaurios y aves. Detalles de la anatomía del oído de aves y cocodrilos han sido puestos sobre la mesa como prueba de peso de que los antepasados de las aves se remontan al Triásico, como mantiene Alick Walker. Mientras tanto otros apoyan a los arcosaurios como antepasados de las aves a causa de las sutiles diferencias apreciadas en la estructura de los hombres, las articulaciones y la pelvis.

Además del trabajo del profesor Ostrom, varios estudios detallados de la anatomía de los terópodos en conjunto llevados a cabo por el doctor Jacques Gauthier, de la Academia de las Ciencias de California, destacan el fuerte parecido entre el *Deinonychus* y sus parientes (los deinonuchosaurios o dromaeosaurios, como se llama a este grupo a veces) con el *Archaeopteryx*.

Un participante de última hora

Un ejemplo de cómo las teorías pueden sufrir nuevos cambios lo proporciona el «*Protoavis*» («primer ave», un nombre provisional). Su descubrimiento fue anunciado por el doctor Sankar Chatterjee, de la Universidad de Texas —Lubbock hace varios años—, pero por ahora no ha sido descrito de forma científica. Es un esqueleto fragmentado de un pequeño reptil de estructura ligera que no parece haberse conservado con huellas de plumas. Como resultado, las sugerencias sobre su afinidad con las aves se refieren exclusivamente a la estructura ósea.

Este ejemplar procede del Triásico tardío. Es perfectamente razonable creer que pueda tratarse de una de las primeras aves fósiles, pero tal afirmación sólo puede hacerse con todas las precauciones. Había una serie de arcosaurios pequeños y ligeros a finales del Triásico, y es muy probable que algunos tuviesen aspecto externo de ave. Después de todo es la época en que evolucionaron los primeros pterosaurios; estos reptiles voladores, aunque sus orígenes no están muy elucidados, deben de haberse desarrollado a partir de arcosaurios extremadamente ligeros que poblaban los árboles. Probalemente también habría en esta época una considerable diversidad de arcosaurios pequeños que también vivían en los árboles y se alimentaban de insectos, y es también el momento



El «Protoavis», *parecido a un ave, tal y como lo ilustró Sankar Chatterjee para un comunicado de prensa.*

en que evolucionarían las aves de forma paralela a los petrosaurios. Dado que la anatomía de las alas es completamente diferente no se plantea la posibilidad de un parentesco cercano.

Las cuestiones críticas sobre el *«Protoavis»* que por ahora siguen sin respuesta a este respecto son las siguientes: primera, si esta criatura es en realidad un arcosaurio especializado o uno de los primeros dinosaruios, y segunda, una vez respondida la anterior, si el material se ha conservado con la suficiente calidad como para poder determinar si es realmente un antepasado de las aves o es un ave auténtica primitiva. Si el ejemplar está lo bastante bien conservado o no para dar respuesta a estas preguntas aún queda por ver.

APRENDER A VOLAR

Sigue siendo un misterio cómo algunas criaturas desarrollan la capacidad de vuelo. Las diferentes teorías se remontan a dos ideas originales propuestas por Samuel Wendell Williston y Othniel Charles Marsh en 1879 y en 1880 respectivamente. Sus propuestas, y las teorías que de ellas han derivado, se pueden resumir en dos frases: «del suelo hacia arriba» y «del árbol hacia abajo».

Del suelo hacia arriba

La creencia que mantiene esta teoría es que los antepasados de las aves eran, como los pequeños terópodos, corredores veloces. La idea, desarrollada por Williston y repetida por Franz Baron Nopcsa en los años veinte, es que las alas, o mejor dicho los brazos en forma de ala, tuvieron en primer lugar la función de propulsores. El animal sacudiría sus brazos al correr para aumentar su velocidad por el suelo. El éxito de esta estrategia llevaría al animal a desarrollar unos propulsores cada vez mayores. Finalmente su tamaño sería tal que podían elevar a la criatura del suelo durante tramos cortos. A partir de ahí se convirtieron en alas auténticas. Esta recreación necesita el apoyo de observaciones que se pueden hacer hoy día en las aves. Algunas de las aves más grandes y pesadas, como gansos, cisnes y albatros, a menudo realizan una carrera durante un tramo moviendo al mismo tiempo las alas, esfuerzo necesario para ponerse a flote en el aire. Las primeras aves también habrían tenido que correr rápido para alcanzar la suficiente velocidad y poder alzar el vuelo con ayuda de sus alas aún poco eficientes.

Aunque en un principio la propuesta parezca razonable, la analogía con un propulsor y su transformación en ala carece de fundamento. Es obvio que los brazos no pueden girar como un auténtico propulsor, y por ello no pueden originar un empuje continuado. Las primeras alas tendrían que moverse de arriba abajo. Esto presenta un problema físico para nuestro teórico aprendiz aéreo: una vez que las alas están extendidas a ambos lados del cuerpo la suave aerodinámica del cuerpo desaparece, así las alas crearían una combinación de alzamiento y resistencia aerodinámica que harían que el animal cayese por tierra. La resistencia actuaría directamente como un freno aéreo que reduciría la velocidad del animal llevándolo abajo. El alzamiento, aunque ideal para el vuelo, sería un gran inconveniente para un corredor terrestre, pues reduciría el peso del animal, disminuyendo al mismo tiempo el agarre de sus pies al suelo.

Así pues, la comparación realizada entre las primeras aves y las aves modernas que corren antes de despegar parece ser incorrecta. Las aves actuales corren para alcanzar la velocidad de despegue conveniente, pues ya disponen de alas totalmente funcionales con características aerodinámicas adecuadas perfectamente para el vuelo. Es de imaginar que las alas de las primeras aves ni habían alcanzado una mecánica de funcionamiento perfecta (huesos, articulaciones y músculos) ni su aerodinámica era la más adecuada, y las ventajas biológicas de unas alas imperfectas no parecen ser muy obvias.

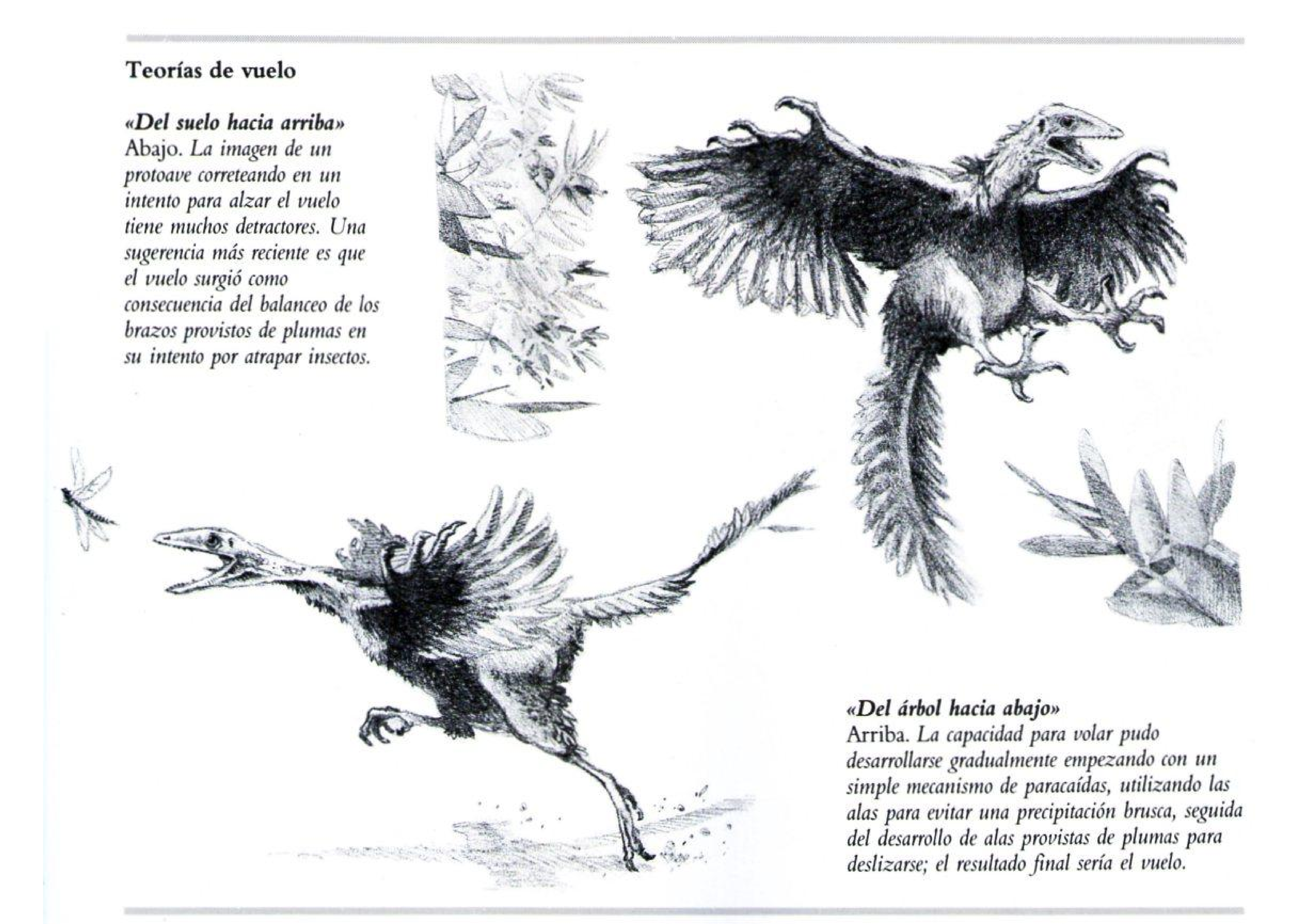
La mayoría de los paleontólogos desechan esta teoría simplemente por los problemas físicos que plantea el desarrollo del vuelo en un corredor veloz. La línea de razonamiento que tiende a suponer que los antepasados de las aves desarrollaron plumas y alas porque de alguna forma «intuían» su utilidad para el vuelo también resulta bastante sospechosa.

En 1974 John Ostrom daría un nuevo giro a la teoría que defiende la «ascensión del suelo». Ostrom estaba sorprendido por el parecido entre el *Archaeopteryx* y los terópodos veloces, y estole llevó a pensar que el vuelo tuvo que surgir entre los depredadores pequeños y veloces que vivían en el suelo. Si estas criaturas tuviesen el tamaño aproximado de un *Archaeopteryx,* es decir, el de un cuervo con las patas más largas, seguramente habrían sido insectívoros. El *Archaeopteryx* tiene unos dientes pequeños y puntiagudos, por lo que estos podrían ser aptos para una alimentación a base de insectos. Partiendo de esta premisa Ostrom desarrolló una teoría completamente diferente sobre el origen de las plumas y el vuelo.

Ostrom sugirió que estos activos depredadores de insectos habrían perseguido a su presa a gran velocidad, capturando insectos voladores como grandes libélulas (cuyos restos fósiles se han encontrado en el suelo de Solnhofen) al efectuar rápidos movimientos de la cabeza. En este caso, las criaturas pequeñas y extremadamente activas es muy posible que fueran endotérmicas, y en este caso habrían necesitado algún grado de aislamiento. El tamaño pequeño resulta ser de una proporción relativamente alta de superficie respecto al volumen, por lo que la criatura perdería calor corporal

Teorías de vuelo

«Del suelo hacia arriba»
Abajo. *La imagen de un protoave correteando en un intento para alzar el vuelo tiene muchos detractores. Una sugerencia más reciente es que el vuelo surgió como consecuencia del balanceo de los brazos provistos de plumas en su intento por atrapar insectos.*



«Del árbol hacia abajo»
Arriba. *La capacidad para volar pudo desarrollarse gradualmente empezando con un simple mecanismo de paracaídas, utilizando las alas para evitar una precipitación brusca, seguida del desarrollo de alas provistas de plumas para deslizarse; el resultado final sería el vuelo.*

con gran rapidez si no estuviese convenientemente aislada. Era posible, dijo Ostrom, que estos animales desarrollasen un canto cubierto de plumas limitando con las escamas, lo que les ayudaría a retener calor. No obstante, este desarrollo puede que fuese de importancia secundaria para estos depredadores. Las escamas acompañadas de plumas, en especial las que aparecen en el borde de los brazos, podrían ser utilizadas como una forma primitiva de red para la caza en la que quedarían atrapados los insectos voladores más escurridizos. Por ello Ostrom se imaginó a las primeras «protoaves» como depredadoras de insectos y habitantes del suelo con plumas en los flancos de los brazos. El paso siguiente, mantiene esta teoría, es el desarrollo de una habilidad para saltar en el aire mientras se persigue a la presa antes de que se escape volando. Los saltos y batimentos con estos brazos bordeados de plumas es posible que terminasen en una especie de revoloteo que permitiría al «protoave» capturar a su presa.

Por tanto, el vuelo en la teoría de Ostrom no se ve como la meta final en el desarrollo de los antepasados de las aves, sino como un desarrollo accidental, favorecido por su tipo de alimentación. Esta teoría también proporciona un buen argumento sobre el surgimiento de las plumas, o al menos de escamas con bordes cubiertos de plumas, como medio de aislar el cuerpo de los endotérmicos pequeños. Su posterior conversión en instrumentos de vuelo es probable que ocurriese bastante después. Esta alternativa a la teoría que defiende el vuelo desde el suelo ha tenido mayor aceptación que la anterior.

Del árbol hacia abajo

En 1880 Marsh describió las condiciones bajo las que desde su punto de vista podría haberse desarrollado la capacidad de vuelo. Trazó un paralelo entre los animales de nuestros días y propuso que los antepasados de las aves serían criaturas que habitabann los árboles. Para animales que viviesen en un hábitat tan precario es comprensible que se produjese una fuerte presión evolutiva

hacia cualquier atributo, por insignificante que fuese, que eliminase los riesgos que entrañaba la caída del árbol al perder pie. Eso sería especialmente probable cuando estas criaturas intentaban capturar y devorar insectos ágiles y veloces en la frondosidad del bosque.

Deslizándose entre los árboles el Archaeopteryx *sería capaz de atrapar insectos mayores de movimientos lentos.*

Establecidas estas condiciones era fácil imaginar que el surgimiento de las aves habría pasado por un estadio intermedio en el que algunos animales habían desarrollado estructuras parecidas a paracaídas para evitar el impacto contra el suelo. Aún existen muchos animales que habitan la copa de los árboles y que han desarrollado estructuras similares a las de los paracaídas entre los que se cuentan lagartos *(Draco)*, serpientes, varias ranas (voladoras» (en realidad ranas planeadoras), roedores, falan-

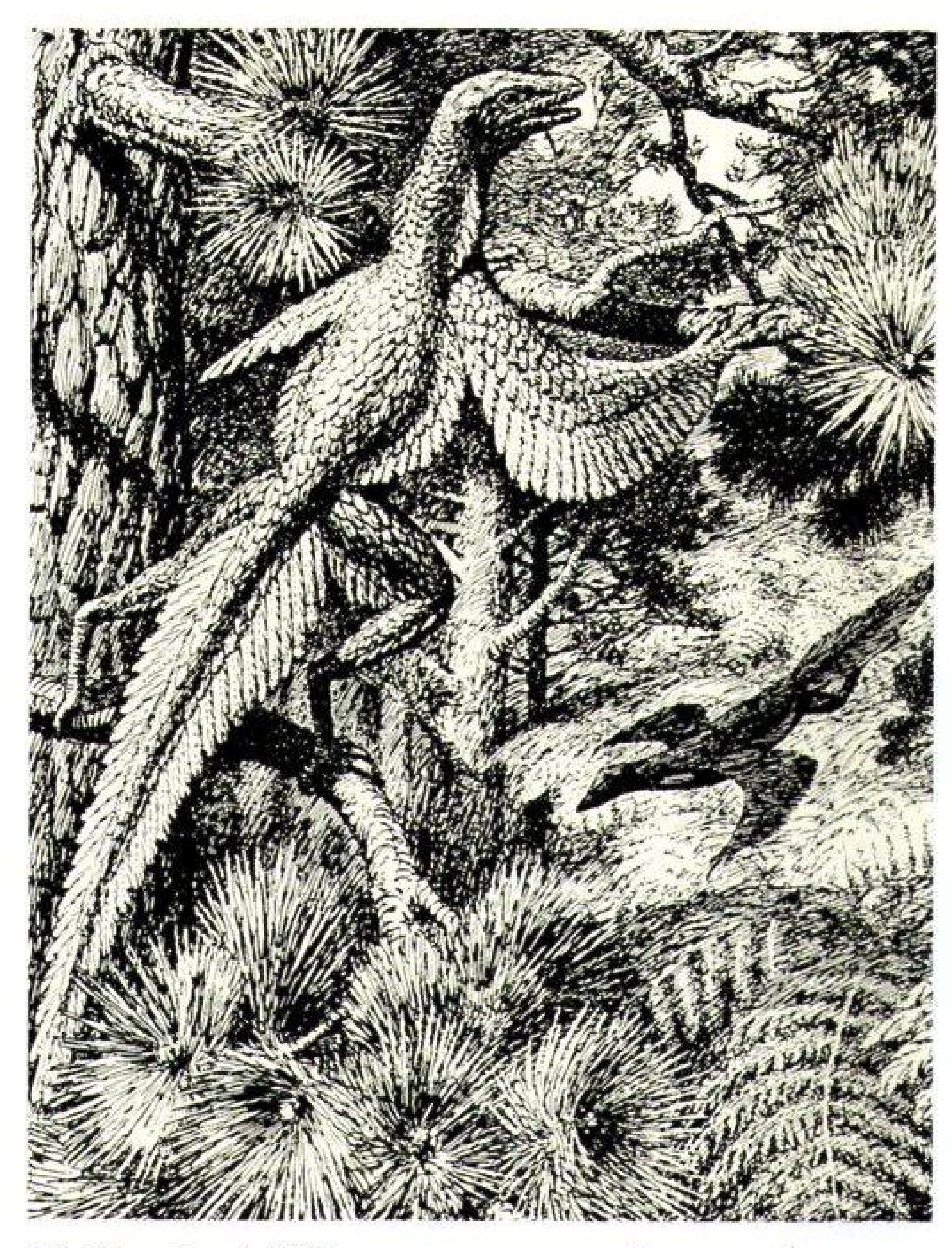


geros y primates; en unos casos se trata de pies que pueden extenderse como paraguas (ranas), en otros son costillas extensibles *(Draco)* y membranas cutáneas que se pueden extender entre las patas anteriores y posteriores (roedores, falangeros y primates).

Esta teoría también sugiere cómo las escamas con plumas habrían evolucionado gradualmente. Estas habrían sido un auxilio para evitar la caída de criaturas pequeñas trepadoras de árboles. La evolución puede haber favorecido a aquellos animales mejor capacitados para evitar la caída, o quizá les habría ayudado a realizar un descenso nada bruscoo en algunas situaciones de peligro. Una vez desarrollada una cierta capacidad de descender a modo de paracaídas con ayuda de escamas acompañadas de plumas, se supone que estas aves ancestrales perfeccionarían gradualmente la capacidad de planeo de árbol en árbol.

El ahorro de energía que permite este deslizamiento





El «Proavis» *de Heilmann trepa por entre las ramas dispuesto a lanzarse en un salto libre de corto recorrido hasta el próximo árbol.*

de rama en rama, en vez de tener que trepar árboles de arriba abajo, es evidente. En un estadio de planeo no es difícil imaginarse que el siguiente paso sería un refinamiento de esta característica mediante el aleteo, lo que permitiría mayor flexibilidad de movimientos en el aire además de facilitar la captura de insectos con las alas.

El deslizamiento es relativamente fácil y no requiere mucho esfuerzo. El aleteo es otra cosa, lo que queda reflejado en el hecho de que haya tan pocos voladores auténticos entre los vertebrados (animales con espina dorsal). En el pasado parece que los pterosaurios fueron los únicos que consiguieron alzar el vuelo, y en la actualidad sólo las aves y los murciélagos son voladores eficientes mediante el aleteo. Las dificultades que crea el vuelo incluyen la necesaria presencia de músculos poderosos que acciones las alas, un esqueleto fuerte pero ligero, un corazón potente y un sistema pulmonar que abastezca a los músculos voladores de alimento y oxígeno, además de un sofisticado sistema sensorial y un cerebro capaces de controlar y ajustar la ruta de vuelo del animal en cualquier momento. Se trata de una lista de requisitos muy desalentadora, y todos son imprescindibles para poner en funcionamiento la «maquinaria de vuelo».

A pesar de estas dificultades la teoría de Marsh tuvo gran aceptación, y en cierto modo su realidad quedó plasmada en la obra *The Origin of Birds,* de Gerhard Heilmann. Éste volvió a considerar las propuestas de Marsh y concluyó que le parecía que se trataba del proceso evolutivo más lógico de vuelo en las aves. Para ilustrarlo mejor Heilmann (también artista) realizó un excelente dibujo de un antecesor de la aves totalmente hipotético: su *«Proavis»* (no debe confundirse con *«Protoavis»)* era una criatura ligeramente cubierta de plumas y que aparecía trepando por un árbol.

¿Hacia arriba o hacia abajo?

El origen de las aves no parece ser objeto de grandes controversias: se ajusta bastante bien a las dos teorías, de abajo arriba y viceversa. Parece perfectamente posible, aunque imposible de demostrar, que las plumas se desarrollasen en el límite entre las escamas.

El origen del vuelo no parece estar tan claro, pero tengo que admitir que me convence más la teoría del «descenso de los árboles». En general el surgimiento del vuelo parece más probable en el caso de criaturas pequeñas que habitasen en los árboles. Las razones que me llevan a pensar esto las expongo a continuación. El despegue es mucho más fácil para un animal que salta desde la rama de un árbol. El hecho de que la gravedad ayude a conseguir velocidad, y el cuerpo se contornee para crear algo de empuje durante el descenso de modo que el deslizamiento sea perfectamente posible parece tener una lógica inherente, y lo apoya la gran variedad de animales que todavía en nuestros días funcionan de este modo. La transmisión al vuelo activo y controlado es —sin lugar a dudas— un paso difícil de explicar. No obstante, estos hipotéticos habitantes de los árboles tendrían una ventaja: la parte del cuerpo especializada como «paracaídas» serían sus brazos móviles y provistos de músculos, como es el caso de pterosaurios y murciélagos. Los otros vertebrados planeadores utilizan partes de su cuerpo menos apropiadas para el desarrollo del vuelo, y no han logrado más que dirigir el rumbo.

¿Podría volar el *Archaeopteryx?*

Grande ha sido la discusión sobre la capacidad de vuelo del *Archaeopteryx.* Una de las razones más evidentes que suscitan este debate es la ausencia en todos los ejemplares de *Archaeopteryx* de un esternón. Se trata de la gran pieza ósea en forma de escudo en medio del pecho de un ave, con una profunda incisión a lo largo de la parte central en la que se alojan los enormes músculos que facilitan el vuelo. La discusión es fácil de explicar. Las aves modernas se caracterizan por sus grandes músculos de



Aunque no eran parientes cercanos de las aves, los pterosaurios como el Dimorphodon *eran capaces de volar mediante aleteo.*

vuelo aclopados al esternón. El *Archaeopteryx* carecía de este hueso; por ello sus músculos para estos menesteres serían débiles y su vuelo sería relativamente suave comparado con el de las aves de nuestros días.

La imagen tradicional de un *Archaeopteryx* es la de una criatura trepadora de árboles con capacidad para deslizarse de árbol en árbol, quizás asistida por el ocasional aleteo de sus alas. Trabajos recientes, por otra parte, sugieren que esta consideración del ave antigua puede que sea algo injusta. El examen del diseño de las alas descubrió que en ellas se alojaban plumas primarias y secundarias muy parecidas a las de un ave moderna. Las alas primarias son las plumas más largas que aparecen fijas en el extremo del ala (en términos humanos sería la mano del ave) y son las que propocionan la propulsión hacia adelante durante el vuelo. Las plumas secundarias aparecen fijas al resto del brazo y generalmente son más cortas que las primarias; actúan como sostén.

Por otra parte, el doctor Alan Feduccia, pateontólogo canadiense, ha demostrado que las alas del *Archaeopteryx* son simétricas. Es decir, que vistas desde arriba o desde abajo, las barbas de la pluma no están divididas en dos partes iguales por el astil. La mitad delantera de las barbas es relativamente estrecha, mientras que la trasera es mucho más ancha. Este diseño es el mismo que se aprecia en todas las aves voladoras en la actualidad y hace que la pluma ejerza con eficiencia una función aerodinámica.

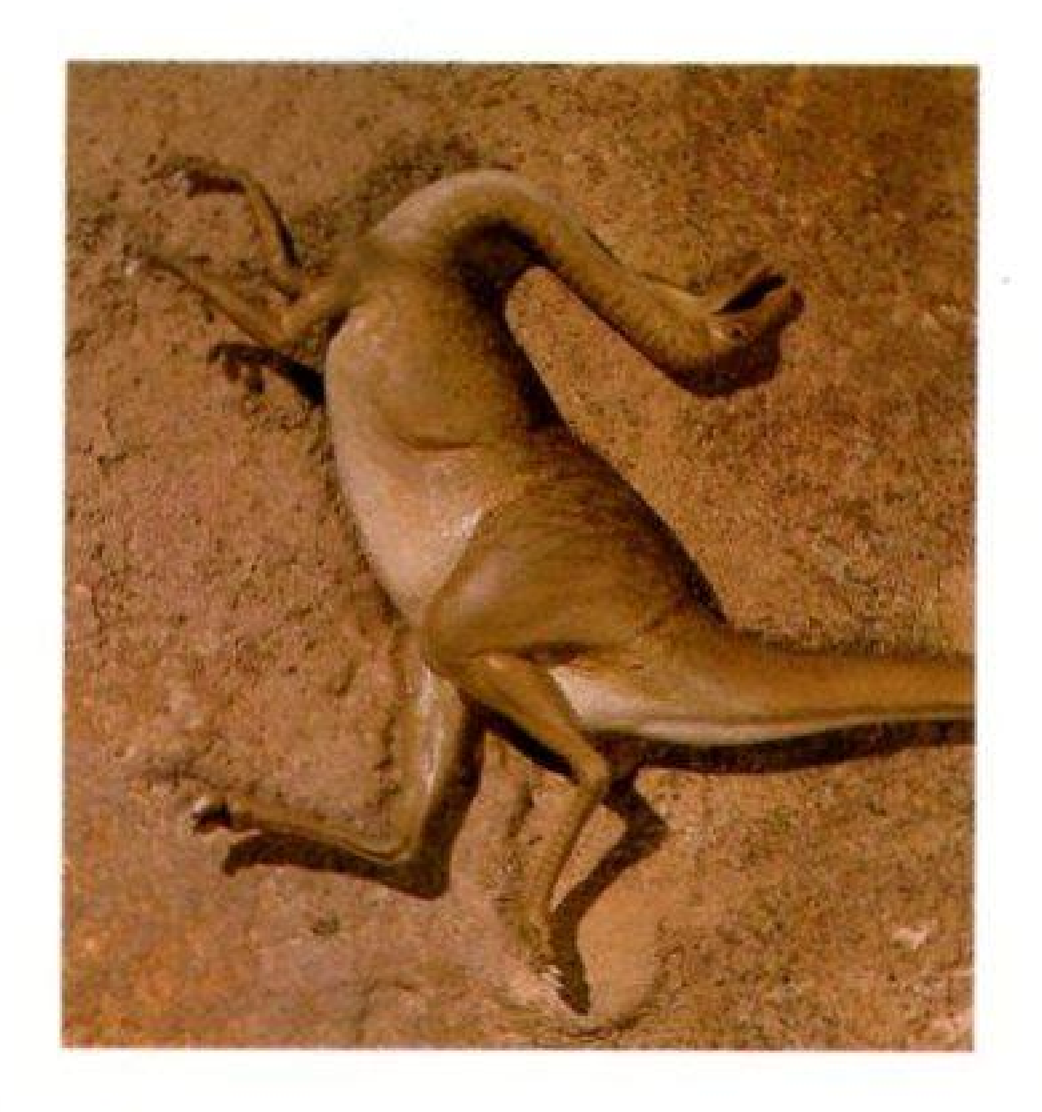
Ambas pruebas llevan a pensar que el *Archaeopteryx* era un animal volador. La falta de un esternón grande a la que hizo referencia anteriormente ha sido contestada mediante un estudio detenido de los músculos de vuelo en las aves modernas. La espoleta del *Archaeopteryx* era prominente y mucho más robusta que en aves vivas de tamaño comparable. Los principales elevadores de las alas están fijos a este hueso en las aves modernas, y es suficiente prueba indirecta de que al menos parte del típico sistema muscular de vuelo de las aves ya estaba bien desarrollado. También se ha señalado que los murciélagos no tienen el esternón fuerte como las aves. Sus grandes y poderosos músculos pectorales están unidos por la mitad con duras láminas ligamentosas.

Ahora se piensa que el *Archaeopteryx* era un volador de cierta destreza capaz de aletear con fuerza. Ciertamente es poco probable que se limitase a realizar planeos, como se pensó con anterioridad. La larga cola ósea sería un útil timón y dotaría al *Archaeopteryx* de bastante estabilidad en el vuelo, aunque esto implica que no sería capaz de realizar demasiados ejercicios acrobáticos. Además de esto, su esqueleto era en general más pesado que el de un ave moderna, lo que sugiere que su destreza aérea no sería nada sorprendente.

CAPÍTULO SÉPTIMO

EL FINAL DE LOS DINOSAURIOS

UNA parte de la historia de los dinosaurios que ha despertado gran fascinación entre el público durante mucho tiempo ha sido su extinción. Parece que uno de los datos que más se conocen sobre el mundo de los dinosaurios es su desaparición hace sesenta y seis millones de años. Ese momento en la historia marcó el final del Cretácico y de la era Mesozoica así como la llegada del Cenozoico, cuyo factor determinante sería la imposición de los mamíferos y, mucho después, de los humanos.



Esta «abdicación» de los dinosaurios se ha relacionado a menudo con teorías en las que se los presentaba como animales inferiores. Es una visión muy simplista del problema, pues no sólo fueron los dinosaurios los que se extinguieron en esa época, sino otros muchos grupos de animales.

Sin hacer un análisis muy detallado del tema que nos ocupa, hay que recordar que los dinosaurios, en sus diferentes tipos, poblaron la Tierra durante al menos 155 millones de años, un periodo de tiempo sorprendentemente largo que va desde la aparición de los primeros ejemplares menos conocidos de finales del Triásico hasta aquellos que vivieron hasta finales del Cretácico. A lo largo de esta inmensidad de tiempo evolucionaron y se extinguieron especies de una variedad enorme, como se puede apreciar en el árbol genealógico y en los diagramas temporales de las páginas XX-XX.

Fue Georges Cuvier (véase página XX) el primero en demostrar a principios del siglo XIX la extinción mediante su labor con elefantes fósiles. Cuvier no contemplaba la extinción en un contexto evolucionista, sino como la eliminación periódica de formas de vida que eran reemplazadas por otras mediante el poder creador de Dios.

Más que pensar en la extinción puramente en términos negativos de muerte o destrucción, se puede considerar como una fuerza positiva que trabaja por el bien de la vida en la Tierra. La exinción es parte del desarrollo de una diversidad en la evolución. Es esencial para el cambio evolutivo, creando un «espacio» en el que nuevos organismos pueden desarrollarse y diversificarse. Un mundo en el que no hubiese extinciones sería un lugar estático, un mundo inalterable. Todo lo que hubiese aparecido alguna vez en el tiempo existiría para la eternidad. No habría espacio para la aparición de nuevas especies, ni posibilidad para que se produjese un cambio o un progreso. La extinción es, por lo tanto, vital para el progreso y el desarrollo, las mil caras que nos proporciona la vida en la Tierra.

La extinción también es una respuesta de la vida de

Arriba. *Dinosaurios individuales, como este* Dromiceomimus, *y especies enteras de dinosaurios se extinguieron durante todo el Mesozoico, pero a finales del periodo Cretácico desapareció de una vez toda la variedad de dinosaurios. ¿Por qué?*
Derecha. *Teorías rivales sugieren causas que varían desde el cambio climático y el agotamiento evolutivo hasta misteriosas fuerzas que operan por todo el universo.*



nuestro planeta a las condiciones variables. Hemos visto que, a consecuencia de la tectónica de las placas, los continentes de la Tierra no siempre han permanecido en el mismo sitio ni han tenido la misma forma. Estas variaciones, incluso si pensamos que los movimientos continentales son tan lentos que resultan imperceptibles desde el punto de vista humano, tienen como resultado cambios lentos pero inevitables en el clima de los continentes que se desplazan a través de diferentes cinturones latitudinales; a esto se une el cambio de las corrientes oceánicas. Una variación en el entorno producida por estos factores geológicos conduce a la extinción de grupos adaptados perfectamente a climas anteriores y a su sustitución por especies capaces de hacer frente de mejor manera a las nuevas condiciones. De forma parecida la separación o unión de los continentes puede afectar a las especies, ya sea por su aislamiento o por la llegada de nuevos competidores. En ambos casos la tasa de extinción es probable que ascienda.

Desde este punto de vista, la extinción de los dinosaurios no debe resultar un acontecimiento inexplicable o desconcertante. Una pregunta más adecuada sería: ¿Cómo lograron los dinosaurios sobrevivir durante tanto tiempo escapando de la extinción? Ningún representante particular logró vivir durante todo el periodo que reinaron los dinosaurios sobre la Tierra; muchos surgieron y desaparecieron en esa franja temporal. Cada una de las especies es poco probable que llegase a vivir más de dos o tres millones de años, y en algunos casos periodos de tiempo considerablemente menores. Pero cada una de estas especies constituyó una pieza fundamental en el rico mosaico que formaba la vida durante el Mesozoico, y cada una dejó su huella en la ecología del momento, además de ejercer una influencia en las especies que aparecieron con posterioridad.

A pesar de todo, aunque durante el reinado de los dinosaurios en la Tierra se produjeron diferentes extinciones, parece que en las postrimerías del Cretácico ocurrió algo extraordinario, y este acontecimiento es el que hace que el final de los dinosaurios despierte en nosotros especial interés.

Extinciones en masa

El final del Cretácico parece marcar una extinción re-

Mediante el registro de la cantidad de fósiles de braquiópodos en rocas de diferentes edades es posible localizar temporalmente extinciones en masa.



pentina no sólo de dinosaurios, sino también de muchos otros organismos diferentes; es lo que en la actualidad se denomina extinción en masa. De nuevo hay que hacer referencia a Cuvier, pues fue quien primero observó gracias a los restos fósiles la existencia de estas muertes en masa. Él y Alexandre Brongniart elaboraron una tabla cronológica de las rocas y los fósiles en la zona circundante a París y comprobaron que familias enteras de animales parecían ser barridas regularmente, siendo reemplazadas por otras. Esta fue la base de su visión «catastrófica» de la historia biológica: la evolución de la vida mediante una serie de catástrofes locales como inundaciones repentinas que eliminaban especies en su totalidad y permitían que nuevas especies hicieran su entrada en estas zonas.

Los dinosaurios, de un tipo u otro, dominaron la vida en la Tierra hasta finales del Cretácico. Al mismo tiempo otros grupos de reptiles imperaban en el aire y en el agua. En el aire los pterosaurios parecen haber sido los amos y señores durante gran parte del Mesozoico, aunque a finales del Cretácico empezaron a aparecer algunos tipos de ave. En el agua los reyes eran los ictiosaurios, los plesiosaurios y los cocodrilos marinos, además de los lagartos mosasaurios gigantes.

Además de las diferentes manifestaciones de reptiles que vivían durante el Mesozoico, había gran cantidad de organismos. Los *ammonites,* notables por sus hermosas conchas, coleccionadas en la actualidad por los aficionados a los fósiles (y parientes lejanos de nuestro nautilo), habitaban los mares en grandes cantidades. El plancton cretáceo era tan abundante que su cuerpo ha formado grandes concentraciones de tiza, además de dar nombre al Cretácico («período de la tiza»). Las zonas costeras menos profundas estaban pobladas por una enorme diversidad de crustáceos, como branquiópodos o almejas.

Esta enorme variedad de vida se desvaneció repentinamente a finales del Cretácico. Esta época de cambio catastrófico se conoce como el límite K-T (Cretáceo-Terciario); la K proviene de la palabra griega para designar a la tiza, *kreta.* En términos generales cualquier animal terrestre de longitud mayor de un metro se extinguió, al igual que casi todos los reptiles marinos de gran tamaño, entre los que se cuentan los cocodrilos marinos, pero no las tortugas marinas. Todos los *ammonites* desaparecieron, así como casi todas las especies de plancton cretáceo y gran número de braquiópodos y almejas. Fue también el fin de todos los reptiles voladores, aunque las aves sobrevivirían.

Es curiosa la naturaleza de esta extinción en masa, pues no sólo fue selectiva, sino también contundente con los grupos a los que afectó. Las aves sobrevivieron aparentemente con pocas bajas, así como los cocodrilos de agua dulce; los mamíferos de varios tipos lograron hacer frente y parece que los peces con hueso y los tiburones no se vieron afectados. La mayoría de las plantas parecen ser ajenas al desastre que eliminó a tantos grupos animales, aunque también se produjeron pérdidas de algunas de las primeras plantas de flor, y parece que justo después del K-T hubo un breve período de exuberancia de helechos y todo tipo de flora.

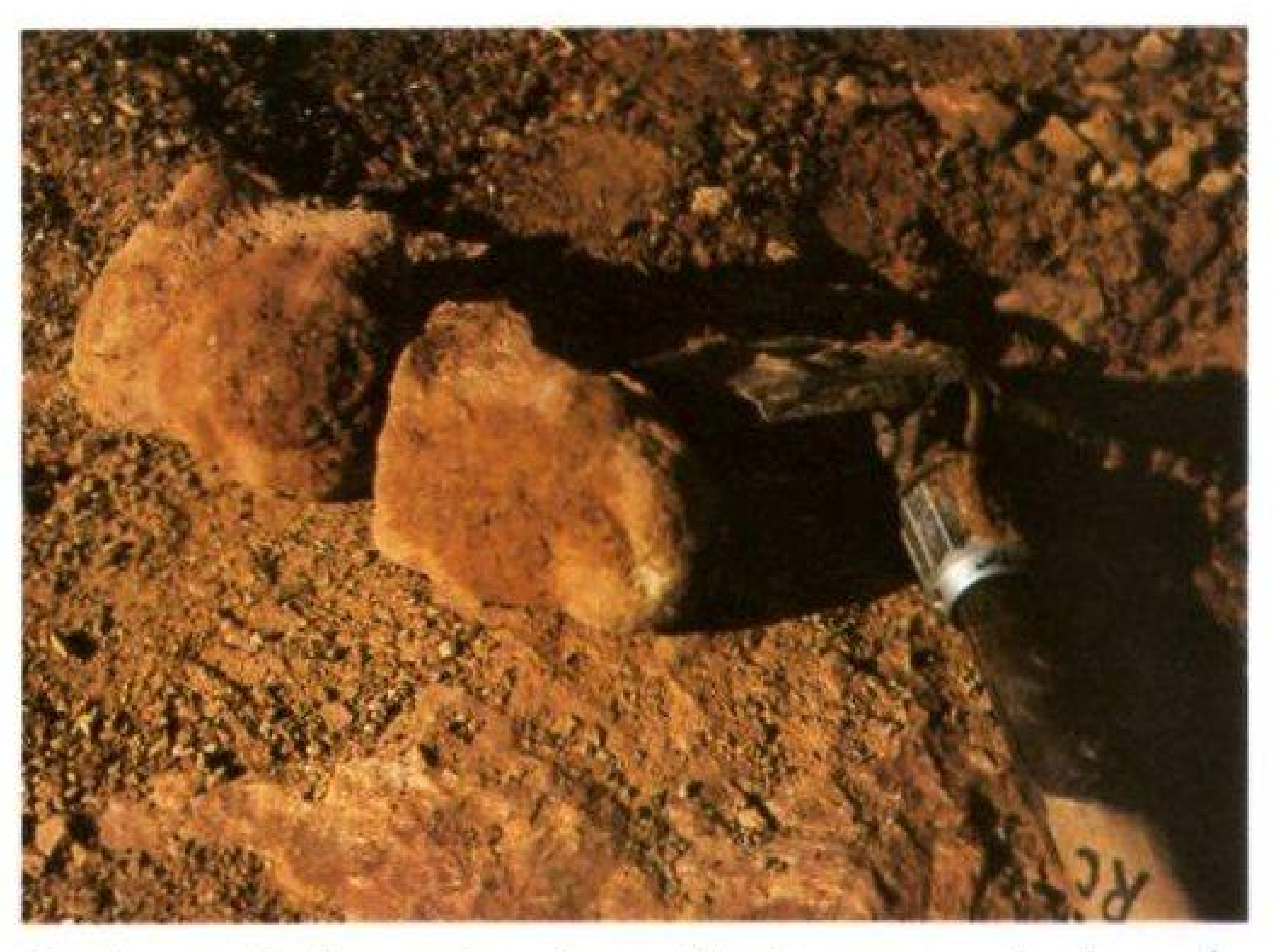
TEORÍAS VARIAS

Queda claro tras la exposición anterior que la consideración en particular de la extinción de los dinosaurios toma un punto de partida erróneo. Es otra manifestación del prejuicio generalizado sobre el tema «dinosaurio» y del hecho de que sean tan grandes y fascinantes. Esta atracción basada en presupuestos falsos ha sido la causa de gran número de teorías que se dedican a explicar esta extinción como si sólo afectase a los dinosaurios. Estas teorías pueden dividirse en los siguientes grupos.

Mal diseño

Una de las teorías que más se repiten para explicar la desaparición de los dinosaurios es simplemente que ya habían vivido bastante tiempo y era hora de que hiciesen mutis; a esta teoría se la denomina a veces «senectud racial» o «hastío del mundo». Es la idea de que las diferentes clases de animales tienen un período de surgimiento, un período de crecimiento y posteriormente un período de declive y aniquilación total, de forma paralela a la vida humana. Se ha intentado hacer ver que los dinosaurios mostraban rasgos de vejez «racial» al manifestarse en formas tan caprichosas como las de algunas especies de finales del Cretácico. Se citan como ejemplo las cabezas gruesas en exceso de los paquicefalosaurios, las enormes golas óseas de los ceratópidos y las complejas crestas de los hadrosaurios. Como se ha visto, estas características no son caprichosas en absoluto, y jugaban un papel concreto en la vida de estos animales. Los dinosaurios, incluso al final del Cretácico, jamás demostraron señales de «senectud racial», más bien al contrario, mostraban una vitalidad sin precedente, surgiendo cada vez mayor número de grupos nuevos y diferentes —nada que ver con una raza en declive.

De forma similar se ha propuesto como agente causante de su extinción la aparición de varios desarreglos corporales: discos dislocados a consecuencia de su tamaño extremadamente grande, trastornos hormonales por la misma causa, exceso de temperatura corporal o problemas de interacción originados por malformaciones en los huesos durante el crecimiento, o disminución progresiva del tamaño del cerebro que resultaría mortal por la escasez de inteligencia o la incapacidad para hacer fren-


Los huevos de dinosaurio se han utilizado como prueba de que la superpoblación y la tensión nerviosa fueron la causa de la extinción de los dinosaurios.

te a unas condiciones nuevas de vida. Ninguno de estos ejemplos resulta convincente. Son poquísimos los dinosaurios que dan muestra de vértebras resentidas a causa de discos dislocados. Como muestra de los trastornos hormonales se recurre de nuevo a representantes de los paquicefalosaurios por su característico cráneo grueso. El trabajo llevado a cabo por el profesor Hopson desecha por completo la teoría de la disminución cerebral, pues demuestra que algunos de los últimos tipos, especialmente los troodontidos del Cretácico tardío, alcanzaron el mayor tamaño cerebral.

El doctor Heinrich Erben, de la Universidad de Bonn, dio un nuevo giro a la consideración del papel de las hormonas en la extinción de los dinosaurios. Su trabajo parecía demostrar una progresiva pérdida de grosor de la cáscara del huevo de un dinosaurio del Cretácico tardío. Defendió que este empobrecimiento, que resultaría mortal para muchos de los huevos, era indicio de un trastorno producido por una tensión nerviosa. Se sabe que la tensión nerviosa produce un debilitamiento en la estructura de los huevos de las aves a través de las hormonas que controlan la puesta. ¿Ocurría lo mismo con los dinosaurios? Erben recreaba un mundo de dinosaurios superpoblado a causa de la exuberancia del entorno; este exceso numérico produciría tensión entre las hembras ponedoras. Estas observaciones no han podido constatarse en ninguna otra especie de dinosaurio, y las colonias de cría encontradas en Montana y Alberta (véase página 000) contradicen esta teoría de forma directa.

Otra serie de teorías relacionada con la imperfección de los dinosaurios hace referencia a la dieta y la digestión. Se ha intentado demostrar que las plantas de las que se alimentaban los dinosaurios, como helechos de varios tipos, contenían aceites vitales para el paso de la comida por el intestino. La desaparición de estas plantas ha sido un argumentos utilizado para explicar la extinción de los dinosaurios mediante estreñimiento crónico. Por otra parte, algunos defienden que los dinosaurios fueron incapaces de detectar las defensas bioquímicas de las plantas, como venenos alcaloides o sustancias que impiden o inutilizan de cualquier otro modo su sistema digestivo. De nuevo se puede decir que ninguna de estas teorías se tiene firmemente en pie ante la sorprendente variedad de aparatos digestivos que caracterizan a los dinosaurios. Y, quizá lo más importante, los restos fósiles de las plantas no dan muestra de que se produjese un cambio tan drástico en la flora a finales del Cretácico como para causar estos problemas dietéticos.

Otras criaturas

También hay una cantidad enorme de teorías que achacan la responsabilidad de la extinción, directa o indirectamente, a otros animales.

A menudo se piensa que los responsables directos del declive de los dinosaurios fueron enfermedades o parásitos. Es obvio el paralelismo con plagas y epidemias de la historia más reciente. No obstante, en el caso de las enfermedades el efecto siempre se ha limitado a especies estrechamente emparentadas.

Siguiendo con el tema de los parásitos, algunos proponen que la «toma de poder» de los mamíferos a finales del Cretácico pudiera estar unida a la desaparición de los dinosaurios. Esta propuesta defiende que mamíferos pequeños desarrollaron un hábito alimenticio en el que se incluían los huevos, y consiguieron llevarlo a la práctica de tal manera que se produjo un rápido descenso en la población de los dinosaurios, y finalmente su extinción. La improbabilidad de esta sugerencia es evidente. ¿Es realmente probable que todas las especies de dinosaurios cayesen víctimas de los depredadores de huevos? Además no es del todo cierto que todas las especies de dinosaurios pusiesen huevos. Desde otro punto de vista, de todos es sabido que en la actualidad hay animales que se alimentan de los huevos de otros, sin embargo no ponen en peligro de ningún modo las especies de cuyos huevos se alimentan.

Un desarrollo en la capacidad de destrucción de los carnívoros superior a la existencia de presas es otra teoría a la que se pueden poner los mismos reparos. La perfección que como depredadores alcanzaron los tiranosaurios del Cretácico tardío ha sido excusa para presentarlos como los últimos y más devastadores de los cazadores. Tan efectivos que terminaron exterminando a sus presas, y con ello labraron el final de su propia raza. De nuevo parece una hazaña demasiado improbable.

Por último mencionaré en este apartado un argumento igual de original pero algo más sutil. Esta vez se hace referencia a la evolución de las orugas, el estadio larval



Las orugas pueden acabar con las hojas de plantas aisladas, pero no a unos niveles que tengan como resultado extinciones en masa.

de las mariposas. La propuesta es la siguiente: las orugas se desarrollaron a finales del Cretácico y se expandieron de forma espectacular. El efecto inmediato fue la desaparición de las hojas de las plantas de las que dependían los dinosaurios herbívoros. Consecuencia de ello fue su muerte por inanición; el proceso en cadena llevó a la extinción de los carnívoros ante la desaparición de su presa. La idea de que las orugas causasen la defoliación de todas las plantas del mundo exige realizar un tremendo esfuerzo imaginativo. Además, los restos fósiles de *lepidópteros* (mariposas) son tan escasos que aunque sea posible que surgieran a principios del Jurásico, no es cierto que el número de estos insectos fuese tan impresionante a finales de este periodo.

Catástrofes mundiales

La inverosimilitud de las teorías anteriores, al centrarse exclusivamente en los dinosaurios, ha dado pie a toda una serie de explicaciones basadas en la alteración del entorno.

En tiempos tan lejanos como el año 1841 Richard Owen formuló su teoría de que durante el Mesozoico el aire contenía niveles de dióxido carbónico mayores que los actuales mientras que con el oxígeno ocurría lo contrario —en su opinión estas características eran ideales para los reptiles—. El final del reinado de los dinosaurios fue considerado un periodo de cambio en el que subieron los niveles de oxígeno y descendieron los de dióxido para alcanzar la proporción actual. Esta variación favoreció a mamíferos y aves, pero no permitió la supervivencia de los dinosaurios. Desde que Owen formulara su teoría se han producido múltiples transformaciones. Entre ellas figuran las propuestas de subidas y bajadas de temperatura, aumento y disminución de la humedad, etc., todas ellas relacionadas con la extinción de estos animales. Entre estas proposiciones destacaré dos concretas, referentes a las condiciones medio ambientales de todo el planeta, por su interés en la actualidad: la destrucción de la capa de ozono y el calentamiento del planeta atribuido al «efecto invernadero».

La destrucción de la capa de ozono se ha intentado vincular a la enorme actividad volcánica de finales del Cretácico. Las erupciones habrían descargado grandes cantidades de ácido clorhídrico sobre la atmósfera. Este ácido habría sido dividido por la luz solar, desprendiendo cloro, un gas altamente reactivo que destruiría o dañaría de forma importante la capa de ozono que rodea la Tierra. La eliminación de esta pantalla de ozono habría permitido que la radiación solar ultravioleta destruyese a los animales que vivieran en tierra y el plancton de las capas superiores del mar.

La teoría del efecto invernadero puede combinarse con la anterior. La actividad volcánica produce enormes cantidades de dióxico carbónico, y si ocurrió a gran escala a finales del Cretácico habría producido un rápido aumento de la temperatura del planeta. El dióxido de carbono también se denomina «gas de invernadero» pues permite que la luz solar llegue a la atmósfera terrestre, pero impide su salida al espacio. La Tierra se calienta rápidamente en estas condiciones, causando así temperaturas insoportables para muchas especies. Este efecto se agravaría por la muerte de plancton sensible al cambio de temperatura, lo que jugaría un papel importante en la conversión del dióxido de carbono a oxígeno por el proceso ordinario de la fotosíntesis.

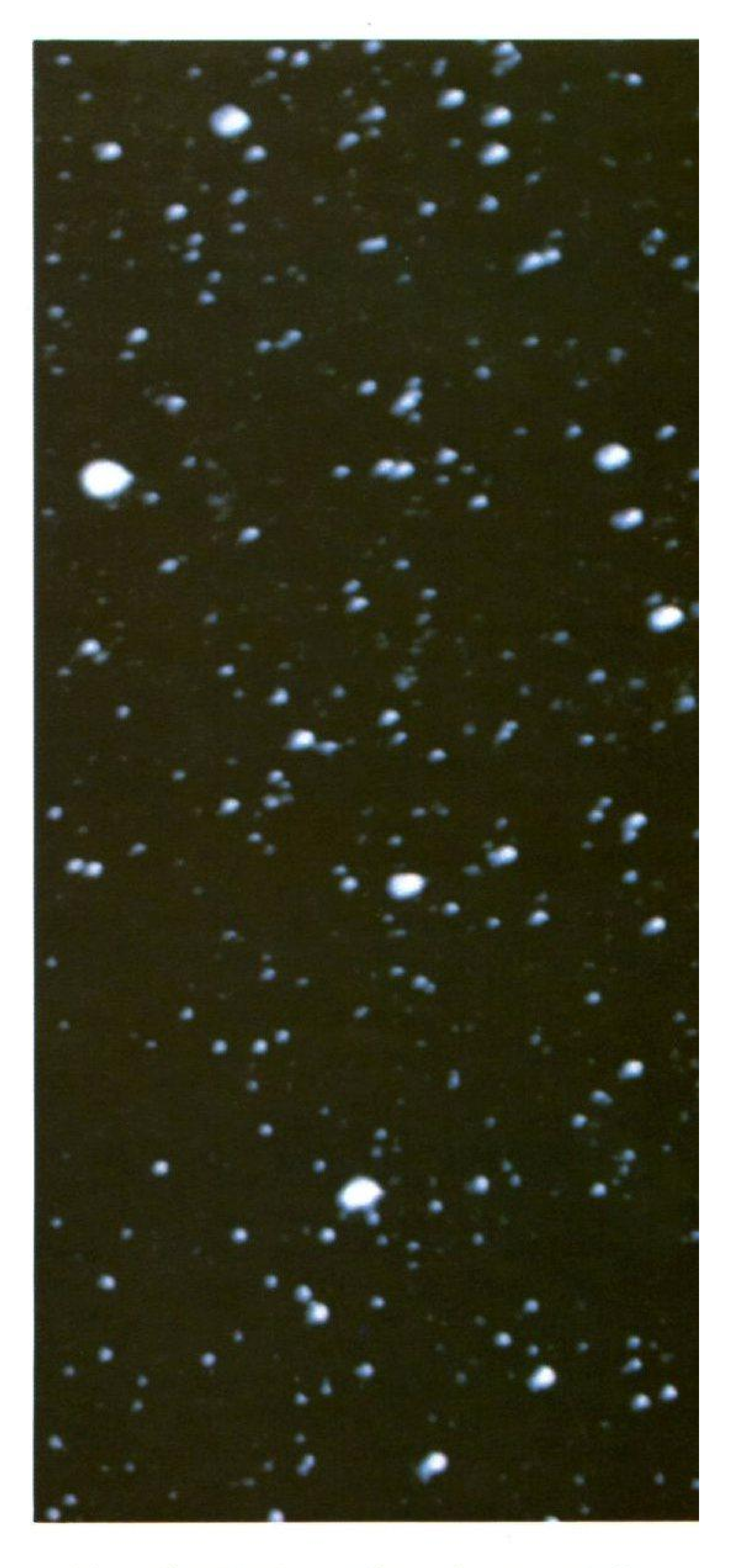
Otra teoría hace referencia a los polos magnéticos terrestres. Investigaciones geofísicas han trazado los campos magnéticos en las rocas del fondo marino, descubriendo que los polos magnéticos del planeta han tenido fluctuaciones, de modo que en algunas ocasiones del pasado el norte se convirtió en sur y el sur en norte. Por ejemplo, hace unos 750.000 años el polo magnético norte, que estaba sobre la Antártida, parece haber cambiado su posición a la actual. Una serie de cambios magnéticos se han apreciado en las rocas de la época precedente a la extinción de los dinosaurios. Algunos físicos piensan que el cambio originó un derrumbamiento momentáneo del campo magnético terrestre cuando los polos fluctuaron. Esto permitiría, al menos en teoría, que rayos cósmicos y otra radiación del espacio, rechazados normalmente por el campo magnético, penetrasen en la Tierra. Si estas partículas de rayos eran mortales de por sí, o si causaron mutaciones desastrosas en ciertos animales, es un punto por aclarar.

En el pasado muchos científicos recurrieron a las supernovas para explicar la extinción de los dinosaurios. Estas explosiones señalan la muerte violenta de una gran estrella que se ha quedado sin combustible y se desplo-

ma. La Nebulosa del Cangrejo de nuestra galaxia son los desechos de una supernova que se vio en la Tierra en el año 1054. Lá supernova que originó la Nebulosa del Cangrejo no estuvo lo bastante cerca de la Tierra para dejar sentir sus efectos. No obstante, si una supernova semejante hubiese estado cerca habría producido fenómenos tales como gran cantidad de radiación y una enorme onda expansiva magnética, alterando de forma importante la vida en la Tierra. Pero no existen pruebas astronómicas convincentes de que tal explosión sucediese lo bastante cerca de nuestro sistema solar.

Los cometas también se han incorporado recientemente a la lista de posibles candidatos causantes de la desaparición de los dinosaurios. El geoquímico Nobel, profesor Harold Urey, sugirió que si un cometa del tamaño del cometa Halley (de unos cuantos kilómetros de ancho) hubiese chocado con la Tierra habría producido un rápido aumento de las temperaturas. De hecho el impacto habría desencadenado una norme explosión nuclear.

Un nuevo lance a la idea del impacto de un cometa proviene de la observación de que algunos cometas parecen tener una «cabeza» cristalina en la que se han detectado cantidades significativas de cianuro. Un cometa de gran tamaño, por lo tanto, habría causado un envenenamiento en masa de todo el planeta.



Contribuciones particulares de los científicos

No es de sorprender que muchos científicos se hayan visto tentados de proponer teorías basadas en sus propias experiencias. De hecho, parece que los científicos dedicados a cualquier disciplina gustan de aportar nuevas ideas. En general se puede considerar esto como un intercambio positivo entre científicos de todos los campos. La otra cara de la moneda es que esta muestra de buena voluntad a la hora de presentar teorías entraña considerables riesgos para los osados, particularmente si carecen del conocimiento paleontológico necesario.

Una teoría propuesta por un fisiólogo hace unos años es que los dinosaurios se extinguieron al quedarse ciegos de cataratas a causa de un exceso de rayos ultravioleta. Esta teoría surgió tras el estudio de las córneas de reptiles modernos.

Otra teoría, propuesta recientemente por un bioquímico especializado en plantas, sugería que los dinosaurios se extinguieron ante la incapacidad de detectar por el paladar los venenos alcaloides producidos por las plantas del Mesozoico tardío. De nuevo, esta teoría surge tras el estudio de reptiles modernos, en particular en el caso de las tortugas, que no pudieron detectar alcaloides en plantas de las que se les alimentó de forma experimental.

Ninguna de las dos teorías se hace merecedora de especial consideración. Los reptiles modernos, particularmente las tortugas, no son los representantes del mundo animal más adecuados para la comparación biológica con los dinosaurios. Es bastante razonable decir que nosotros, los humanos, estamos desde cierto punto de vista emparentados de forma más cercana con los dinosaurios que las tortugas.



Si un cometa de tamaño similar al Halley chocase con la Tierra, las consecuencias medioambientales serían dsastrosas: desde una bola de fuego nuclear que envolviera la Tierra hasta el total envenenamiento de ésta por cianuro. Como poco, habría un rápido aumento de la temperatura del planeta, eliminando toda forma de vida incapaz de adaptarse a semejante cambio.

No obstante, lo que aquí persigo no es simplemente la descalificación de otras dos teorías. Es cierto que ambas propuestas las hicieron científicos respetables que sin duda han realizado un trabajo muy importante en sus respectivas especialidades. La fascinación universal producida por la extinción de los dinosaurios ha llevado a estos hombres a poner en la palestra sus propias teorías,

lo que más que ayudar a clarificar los hechos crea mayor confusión y pocas veces contribuye a mejorar su reputación como científicos.

LA EXTINCIÓN CATASTRÓFICA

Como se ha visto, se han propuesto muchas teorías que defienden un final dramático a la presencia de los dinosaurios en la Tierra: mediante fluctuaciones en el campo magnético, explosión de estrellas o impactos de cometas o meteoritos. Los paleontólogos han descartado la mayoría como frivolidades del intelecto, pues parecían simples intentos de asociar un final numérico tan importante como el de los dinosaurios con acontecimientos de la misma trascendencia. Con posterioridad, en 1979, se produjo una publicación que dio nueva vida a las teorías de los catastrofistas haciendo que cobraran mayor importancia en el asunto que nos ocupa.

El trabajo que culminó con esta publicación formó parte de seis años antes de un rutinario proyecto de recogidas de muestras paleontológicas. El doctor Walter Álvarez, de la Universidad de California, Berkeley, se ocupaba de la recolección de fragmentos de rocas de formaciones de piedra caliza en el centro de la zona septentrional italiana, cerca de la ciudad de Gubbio. Las muestras eran diminutos organismos de plancton provistos de concha, conocidos como foraminíferos. Las conchas de estas criaturas forman en realidad la masa de las rocas de piedra caliza.

Las rocas de la zona de Gubbio eran de finales del Mesozoico y de ambos márgenes del límite K-T que marcó el final del periodo Cretácico y el principio del Terciario. El doctor Álvarez observó que los foraminíferos abundaban en la caliza inmediatamente inferior a la capa correspondiente al límite K-T, pero justo al llegar a este punto, representado por una fina capa de dos centímetros de grosor de arcilla gris rojiza, los foraminíferos desaparecen casi por completo —se puede identificar un solo tipo—. Por encima de esta línea vuelven a ser abundantes.

Los foraminíferos viven en el cieno del fondo oceánico. Un estudio de sus formas fósiles llevó al profesor Álvarez a elaborar la teoría de extinciones en masa causadas por un meteorito.



En un intento por medir el tiempo que habría tardado en depositarse la fina capa de arcilla que señala el límite K-T, el doctor Álvarez volvió a la Universidad de California con algunas muestras y expuso el problema a su padre, el fallecido profesor Luis Álvarez, un astrofísico galardonado con el Premio Nobel que también trabajaba en Berkeley. El padre inventó un método para medir la longitud de tiempo que habría tardado en depositarse la arcilla basándose en la lluvia continua de partículas cósmicas que caen sobre la Tierra y se incorporan en cualquier sedimento. El material extraterrestre tiene una estructura química diferente de la de los sedimentos terrestres, y esta diferencia puede medirse. Álvarez eligió el iridio, un metal del mismo grupo que el platino, pues es varios miles de veces más abundante en polvo de meteoritos que en la superficie de la Tierra. La mayor parte del iridio que habría estado disponible en la superficie de nuestro planeta cuando se formó hace 4,5 billones de años se concentra en la actualidad en las entrañas del globo.

Mandó analizar el iridio alojado en la arcilla del límite K-T, así como los sedimentos de piedra caliza superiores e inferiores a esta capa. Los resultados fueron sorprendentes. Resultaba que la muestra de arcilla contenía concentraciones inusualmente altas, treinta veces superiores a la caliza. Esto era prueba evidente de que algún factor de origen extraterrestre había afectado a la Tierra en el periodo de extinción de los foraminíferos y los dinosaurios. En 1979 el equipo de Berkeley publicó sus hallazgos, proponiendo que el aumento del iridio en esta capa de arcilla podría haber sido el resultado de la explosión de una supernova cerca de nuestro sistema solar, a una distancia aproximada de medio año luz (9'5 millones de millones de kilómetros), en términos cósmicos nada lejos.

Esta teoría no duró mucho tiempo. Análisis posteriores de la muestra de arcilla realizados por los doctores Asaro y Michels, de Berkeley, demostraron que la teoría de la supernova era muy improbable, pues ningún otro de los elementos que la componen, como el plutonio, era detectable en los sedimentos, y su presencia habría sido necesaria. Similares concentraciones anormales de iridio comenzaron también a ser detectadas en la arcilla del límite K-T en otras partes del mundo, primero en Dinamarca, posteriormente en Nueva Zelanda y casi cincuenta anomalías se han recogido por todo el planeta.

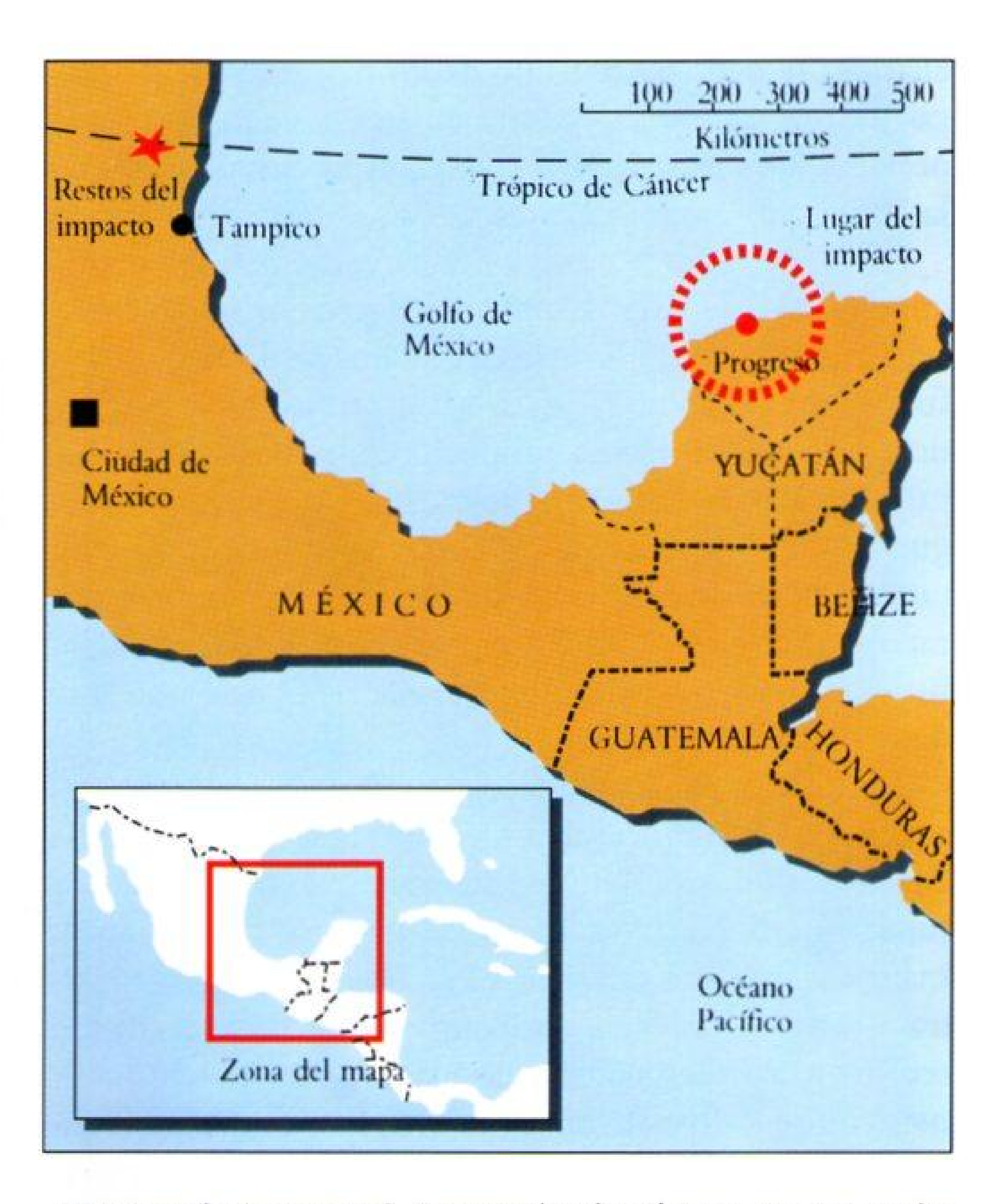
Para explicar la aparente extensión por todo el planeta de este fenómeno, Luis y Walter Álvarez propusieron que la capa de iridio fue resultado del impacto y consi-

guiente vaporización de un enorme meteorito de aproximadamente diez kilómetros de ancho. La colisión de un meteorito de estas características a una velocidad de quizá 100.000 kilómetros por hora habría tenido un resultado catastrófico para la Tierra y su atmósfera. Este impacto habría agujereado la atmósfera hasta llegar a la corteza terrestre, donde se habría vaporizado lanzando una enorme nube de polvo por el impacto de la explosión causaría en la atmósfera una enorme turbulencia, originando vientos que transportarían nubes y masas de polvo por todo el planeta. Además se habrían producido violentos terremotos y maremotos gigantes que azotarían todo el planeta. Un ejemplo del efecto de las nubes de polvo en la atmósfera lo recogen las crónicas históricas donde figuran grandes erupciones como la del volcán indonesio de Tambora en 1816, cuyo polvo produjo heladas en junio en Norteamérica y Europa, y más recientemente en el Monte Saint Helens, donde partículas de polvo se esparcieron en la estratosfera alrededor de todo el mundo, aunque estas explosiones violentas no serían más que pequeñas detonaciones comparadas con un importante impacto de meteorito.

Este lúgubre acontecimiento habría sido desastroso para los organismos que habitasen la Tierra. Las nubes y el polvo habrían impedido la llegada de la luz solar durante mucho tiempo; algunos sugirieron que la oscuridad puede que durase meses o incluso años. La falta de luz solar produciría la muerte de plantas, destrozando las cadenas ecológicas de tierra y mar. La naturaleza global de esta catástrofe parece explicar mejor la extinción de tantas criaturas de finales del Cretácico. Es evidente que los supervivientes serían aquellos animales mejor adaptados para sobrevivir en periodos fríos y oscuros. Las plantas pueden volver a extenderse gracias a las semillas, esporas o rizomas. Muchos de los animales que sobrevivieron serían carroñeros pequeños especializados, como los mamíferos de la época.

La comunidad científica reaccionó de forma mucho más favorable a esta teoría que a la mayoría de las hipótesis anteriores que enlazaban esta catástrofe con factores extraterrestres. Hay dos razones para ello. En primer lugar, esta teoría proporcionaba una base sólida, fundada en observaciones científicas que podían ser analizadas y ser tema de un debate mucho más fructífero. En segundo lugar, el ambiente recreado enlazaba con el interés del público, preocupado por catástrofes de tipo militar y medio ambiental. El parecido de estos efectos a los de una guerra nuclear —el «invierno nuclear»— hicieron ver el potencial destructor de estas armas.

Nuevos estudios de las arcillas del límite K-T de otras partes del mundo contribuyeron a mentener la teoría del meteorito. En algunos depósitos se encontraron fragmentos diminutos de roca que debieron derretirse para ser disparados en el momento del impacto. También se han identificado en el microscopio granos de cuarzo (arena) de estas capas que muestran curiosas fracturas. Este tipo de cuarzo parece que sólo se forma bajo condiciones extremadamente violentas, como cuando se produce el impacto de un meteorito.



¿Lugar de impacto? *Durante los dos últimos años un equipo de geólogos dirigidos por Walter Alvarez ha encontrado pruebas cada vez más contundentes del impacto de un meteorito enorme en la zona de la Península del Yucatán, en México. Restos del impacto han sido localizados en el interior de este país, al otro lado del Golfo de México. Entre estos restos se incluyen capas de «granizo rocoso» de incluso treinta centímetros de grosor y restos fósiles de árboles mezclados con sedimentos de suelo oceánico. La mezcla de estos dos últimos indica que gigantescos maremotos pueden haber barrido la superficie después del impacto, arrancando árboles y arrastrándolos hasta el mar.*

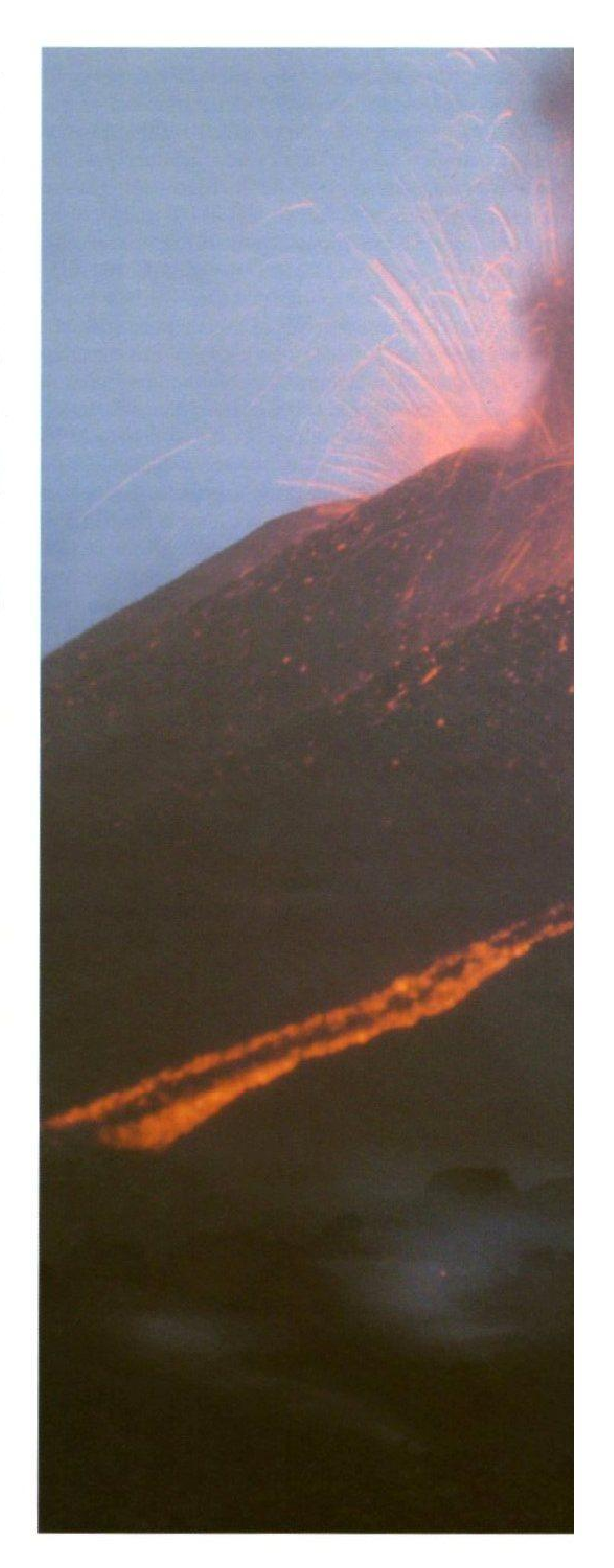
La polémica en torno a esta teoría y su crítica se ha centrado en una serie de puntos. El más obvio ha sido la localización del cráter, que sería la cicatriz dejada en la tierra por el meteorito al entrar en contacto con la Tierra. Los cálculos sugieren que un acontecimiento de este tipo produciría un cráter de unos doscientos kilómetros de diámetro. No se ha encontrado ningún cráter con estas características que corresponda a esa época, ni siquiera con la ayuda de imágenes por satélite. No obstante, unas cuatro quintas partes de la superficie terrestre son agua, y las probabilidades de que el meteorito aterrizase en superficie oceánica frente a la superficie continental son mayores. Si este fuese el caso, puede que

el cráter se perdiese por uno de los márgenes de las placas tectónicas, pues aproximadamente la mitad del suelo oceánico que existía en el Cretácico ha desaparecido en las fosas que bordean las placas (véase pág. 26).

El debate sobre la posible duración del periodo de oscuridad en la Tierra después de la colisión también ha sido importante. Los primeros cálculos de dos o tres años fueron rápidamente reducidos, en primer lugar porque una duración tal habría producido la muerte de prácticamente todas las formas de vida del planeta, y en segundo lugar porque los procesos atmosféricos habrían podido despejar gran parte de los desechos con relativa rapidez. La mayoría de los científicos favorece en la actualidad un periodo de intensa oscuridad que no excedería de los tres meses.

También se ha discutido la importancia de los índices anómalos de iridio y el origen extraterrestre que se le atribuye. El doctor Michael Rampino, de la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio), mantiene que este factor no es en absoluto de origen extraterrestre. Más bien, propone, refleja un mecanismo sedimentario (de depósito de materia en el suelo oceánico) que produjo la concentración de iridio en estas capas de arcilla. Se sabe que hay condensaciones anómalas de iridio en nódulos de manganeso que pueden recogerse del fondo oceánico.

Una alternativa a alguna forma de mecanismo de condensación sedimentaria es la que proponen los doctores Charles Officer y Charles Drake: los altos niveles de iridio serían de origen volcánico. Sus estudios indican que se encuentran concentraciones de iridio por encima y por debajo de la línea de arcilla del K-T, lo que apunta a que este hecho no se limita a un momento determinado. En esa época la actividad volcánica era considerable, de ello dan fe los enormes volúmenes de lava volcánica que se depositaron a finales del Cretácico en la región Deccan de la India, y esto puede que tuviese fuertes repercusiones medio ambientales. Las salidas de gases de muchos millares de volcanes habrían producido altos niveles de lluvia ácida, disminución de la capa de ozono e incremento del «efecto invernadero», aunque esto último se habría visto contrarrestado por la capa de polvo en la atmósfera. Además de todos estos efectos atmosféricos, el Cretácico tardío fue también una época de retroceso del nivel del mar muy extendido; el mar refluyó dejando al descubierto grandes zonas de tierra que habían estado a poca profundidad durante la primera parte del Cretácico. La suma total de todos estos efectos es



Importante actividad volcánica a finales del Cretácico pudo ser la causa de la extinción de los dinosaurios. El Deccan de la India contiene enormes volúmenes de lava volcánica producida hace sesenta y seis millones de años. Su efecto habría sido pésimo para el medio ambiente.



en esencia la misma que la de la teoría de los meteoritos; la diferencia reside en que la extinción fue producida por factores terrestres, y no extraterrestres.

Está claro que todavía sigue sobre la mesa la discusión de las propuestas de Álvarez padre e hijo. Sus hipótesis son apoyadas por un número considerable de científicos, pero no por todos. La teoría del meteorito, en su estado actual, acepta que se produjo el impacto desencadenante del proceso de extinción. El punto principal de este debate es el mecanismo preciso de extinción. ¿Fue el simple resultado de una prolongada oscuridad?, ¿la capa de polvo en la atmósfera produjo un «efecto invernadero» o un enfriamiento de la Tierra?, ¿fueron el impacto y la bola de fuego resultante los que provocaron la torrencial lluvia ácida?, ¿o se produjo una combinación de los factores anteriores?

EXTINCIÓN GRADUAL

Las propuestas del equipo de Berkeley fueron un desafío para otros paleontólogos que favorecían procesos de extinción más graduales para los dinosaurios y otros grupos de organismos. Su principal centro de interés fueron las rocas de los últimos años del Cretácico y los detalles que proporcionaban los fósiles que alojaban.

Mientras que Walter Álvarez recogía muestras en Italia durante los años setenta, se estaba realizando otra selección detallada en los Estados Unidos. Se trataba de recogida y recopilación de datos de la fauna y flora de finales del Cretácico por el profesor Leigh van Valen, de la Universidad de Chicago, y el doctor Robert Sloan, de la Universidad de Minnesota. Los resultados de su trabajo indicaban que los dinosaurios, entre otros, no se habían extinguido por un simple cataclismo, sino que habían sido víctimas de un progresivo deterioro climático que situaron entre los últimos cinco o diez millones de años del Cretácico. Fundamentalmente, lo que desveló su trabajo fue que, durante un periodo de tiempo próximo al final del Cretácico (aproximadamente entre cinco y diez millones de años antes del límite K-T), la vegetación de los dinosaurios había sido rica y variada, por lo que su entorno era bastante poblado, con un clima subtropical. Durante los últimos cinco millones de años que conducen al límite K-T la fauna y flora dio un giro. Los fósiles muestran que la cantidad y variedad de dinosaurios descendieron, mientras que se aprecia un florecimiento de la fauna mamífera, conocida como *Protungulatum* porque en ella se incluyen los ungulados, mamíferos con pezuña. La vegetación también cambió, y sus manifestaciones indican la preponderancia de un clima templado frente a la anterior exuberancia subtropical. Estas observaciones condujeron a Van Valen y Sloan a pensar que la extinción de los dinosaurios pudiera haberse dado en primer lugar en las latitudes septentrionales para avanzar gradualmente hacia las meridionales.

Este labor se vio prácticamente eclipsada por el interés que despertó la teoría de la extinción a causa de un meteorito, pero años más tarde algunos grupos de paleontólogos comenzaron a explorar las posibilidades que apuntaba la obra de Van Valen y Sloan. En particular el profesor Bill Clemens, un paleontólogo asentado —como Álvarez— en Berkeley, comenzó a coleccionar de forma sistemática rocas del Cretácico tardió a lo largo de las Montañas Rocosas con el fin de comprobar la teoría de Álvarez. Él y su equipo pudieron identificar una anomalía en el nivel de iridio, pero no coincidía con la época en que aparentemente desaparecieron los dinosaurios. Su extinción se produce siempre algunos metros por debajo del nivel de las rocas que presenta una importante capa de iridio, por lo que probablemente la fecha debe de haberse calculado erróneamente: con ello los dinosaurios se habrían anticipado a la desaparición por el meteorito en varios miles de años. El trabajo de otro grupo llegó a conclusiones radicalmente diferentes. Pero también ellos propusieron el carácter gradual de la extinción de los dinosaurios.

¿Vivieron más tiempo los dinosaurios?

No sólo los resultados del profesor Clemens sino también el trabajo de varios paleontólogos, entre los que se incluyen Van Valen, Sloan, el doctor Keith Rigby, de la Universidad de Notre Dame en Indiana, y el doctor Diane Gabriel, del Museo Público de Milwaukee, además de la tarea adicional que incluye la colección de gran número de mamíferos primitivos realizada por el doctor David Archibald, de la Universidad de San Diego, hacían pensar que la extinción no fue instantánea —en el sentido de que se produjese en el plazo de unos meses—, sino que duró de 20.000 a 50.000 años. Este periodo, breve en términos geológicos pero largo en relación a la dinámica de población animal, estuvo marcado por una «sucesión» ecológica en la que comunidades con predominio de dinosaurios pasaron a ser dominadas por mamíferos. El factor clave que parece sustentar este cambio aparenta ser climático: el cambio de suaves condiciones tropicales o subtropicales a un clima más estacional.

No sólo eso sino que las colecciones de estos investigadores en la zona de Hell Creek, en el estado de Montana, parecían dar testimonio de la supervivencia, aunque rara, de algunos dinosaurios hasta los principales del Paleoceno, es decir, más allá de la línea K-T. Todavía hay polémica sobre si estos restos extraños de dinosaurios se dataron con exactitud. Es posible que fuesen fósiles que surgieron de la erosión de capas del Cretácico tardío para ser depositados en una zona del Paleoceno.

Qué favoreció este deterioro climático que apoyan todos estos investigadores como el factor que explica la extinción acumulativa a finales del Cretácico es un punto sobre el que no se ha llegado a ningún acuerdo. No obstante, en términos generales se sabe que la fase final del Cretácico fue una época de retroceso de los mares y de considerable actividad volcánica. La combinación de estos factores puede haber supuesto un impacto en el clima de todo el planeta originando mayor variación estacional cuando las corrientes oceánicas acompañaron al cambio de sus límites y cuando a su vez se produjo un giro en el rumbo de los vientos.

Es probable que las temperaturas del planeta disminuyesen varios grados, creando condiciones mucho menos favorables para los dinosaurios, así como para otros animales adaptados a temperaturas más cálidas. El aislamiento de la fauna en zonas de menor extensión que seguiría al fraccionamiento del Pangea puede haber causado una presión ecológica sobre formas menos adaptables —entre las que puede que estuviesen incluidos los dinosaurios—, y su capacidad para hacer frente a estas nuevas condiciones puede haber contribuido a su declive y extinción final.

¿Pueden ser ciertas ambas teorías?

Por el momento, la opinión de los paleontólogos sobre la desaparición de los dinosaurios y la de muchos otros grupos que se desvanecieron hace unos sesenta y seis millones de años se ha polarizado en dos bandos; uno que favorece un final catastrófico y otro, una desaparición más gradual. Pero estas dos posturas no son irreconciliables. Hay gran cantidad de personas que apoyan el modelo de extinción gradual y creen que los restos fósiles demuestran que muchos grupos animales, entre ellos los dinosaurios, disminuían en cantidad y variedad a ritmo constante a finales del Cretácico. No obstante, a la vista de los impresionantes datos que Álvarez y sus colegas han recogido, están dispuestos a aceptar que casualmente se unió a esto el impacto de un meteorito contra nuesto planeta, acelerándose el inevitable final de, al menos, parte de estos grupos.

¿SE EQUIVOCA DARWIN?

La división de los paleontólogos entre los que están dispuestos a aceptar cambios catastróficos en la historia de la vida en el planeta y los que defienden un giro más gradual representa dos actitudes filosóficas diferentes hacia la naturaleza y la historia natural. Estas posiciones las mantuvieron dos hombres notables de los que ya se ha hablado: Charles Darwin, que favorecía el cambio lento, casi imperceptible en la evolución de la vida, y Thomas Henry Huxley, quien a pesar de ser uno de los seguidores más fieles de Darwin en la lucha por hacer ver la evolución, tampoco hacía ascos a la visión de la evolución como un proceso mucho menos regular.

Evolución a saltos

La visión darwiniana de la historia de la vida, es decir, la del cambio lento y gradual, permaneció incontestada en el mundo de la biología desde las primeras décadas de nuestro siglo hasta los años setenta. Desde ese momento, si bien el pensamiento no ha tomado el camino contrario, sí que ha vacilado al menos. El trabajo del profesor Stephen Jay Gould, de la Universidad de Harvard —entre otros—, ha despertado dudas sobre la teoría estrictamente darwiniana. Apoya la historia de la vida como periodos prolongados de ligero cambio en la evolución delimitados por periodos de cambio rápido y drástico. Esta visión se resume en la expresión «equilibrio periódico»: la vida progresa firmemente en una fase de equilibrio, pero periódicamente se producen épocas de cambio rápido.

Esta polémica sobre la extinción de diversas especies a finales del Cretácico hace palpable que para saber lo que ocurrió en tiempos tan lejanos dependemos de forma vital de la calidad de los fósiles que alojan las rocas. La teoría darwiniana mantiene que los restos alojados en las rocas constituyen una muestra tan pequeña de organismos que es muy posible que en algún punto haya huecos por cubrir, pues puede que no quedaran fosilizados gran cantidad de representantes que sí existieron, por lo que la evolución de las formas de vida de las que da cuenta no es ni mucho menos continua. En este punto hubo (entre los biólogos de nuestros días aún lo hay) amplio acuerdo. A pesar de ello, Gould y su colega Niles Eldredge desafiaron este punto de vista a principios de la década de los setenta. Analizaron restos fósiles, especialmente los de organismos marinos provistos de concha, y se encontraron con una periodicidad en las sucesivas capas de rocas mostrando que formas parecidas vivían a lo largo de considerables periodos de tiempo para después desaparecer bruscamente. La extinción repentina de una de estas formas de vida coincidía con la aparición igualmente inesperada de nuevas especies fósiles que ocupaban el lugar de las anteriores. El mismo proceso ocurría con las últimas. El carácter repetitivo de este modelo llevó a Eldredge y a Gould a sugerir que estas formaciones eran realmente una señal del modo de evolución en la historia de la vida en nuestro planeta más que fósiles con un valor altamente casual: periodos muy estables eran separados por periodos de cambio rápido.

Este desafío a las teorías de los biólogos modernos fie-

les al evolucionismo fue la primera de una serie de incursiones que los paleontólogos han hecho en lo que siempre se consideró campo de acción, exclusivamente de biólogos ocupados en las especies todavía vivas. El trabajo que siguió a las ideas nuevas y controvertidas mantenidas por Eldredge y Gould se centró en la información que podían proporcionar los fósiles y en su calidad, y fue la causa de meticulosos estudios del terreno.

Uno de los más ambiciosos y pormenorizados lo llevó a cabo el doctor John Sepkoski, de la Universidad de Chicago. Su tarea consistió en catalogar el momento de aparición y desaparición de grupos (familias) de organismos marinos durante todo el Fanerozoico; hay más de tres mil familias conocidas que comprenden aproximadamente un cuarto de millón de especies. Se limitó a los organismos marinos por la simple razón de que sus restos fósiles son más completos que los de formas de vida terrestres y la datación de rocas marinas también es por lo general más precisa.

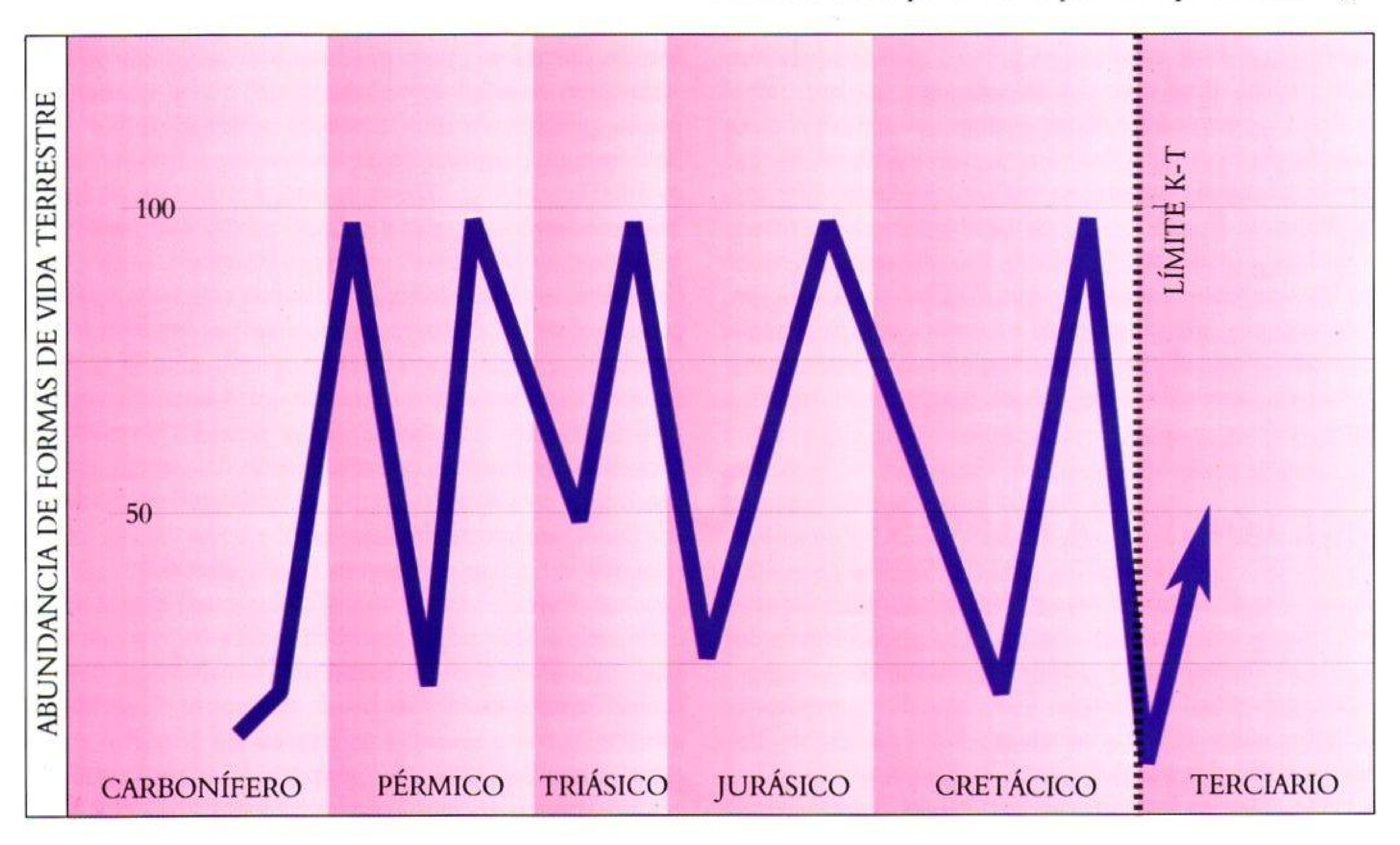
La razón principal que le llevó a ocuparse de este campo de la historia marina era comprobar si era posible descubrir modelos de cambio en la diversidad de todos estos grupos en su historia en conjunto. Cumplió su propósito proporcionando algunas pruebas de que la diversidad de un momento concreto, y por ello la historia evolutiva de los grupos en conjunto, era «reajustada» a intervalos a lo largo de todo el Fanerozoico mediante declives bastante abruptos en la variedad de familias: extinciones en masa.

En colaboración con el profesor David Raup, también de Chicago, realizó un análisis aún más detallado de los organismos marinos del Pérmico tardío hasta nuestro días, periodo de tiempo que comprendía doscientos cincuenta millones de años. Este estudio, según Raup y Sepkoski, indicaba una curiosa periodicidad de las extinciones cuyo ciclo se cumplía en periodos de aproximadamente veintiséis millones de años. El ciclo comenzaba con una extinción en masa a finales del Pérmico sufrida por el noventa por ciento de todos los organismos marinos. Veinteséis millones de años más tarde, a finales del Triásico, se producía una nueva devastación. Y así se repetía otras siete veces hasta la última, que en su opinión ocurrió hace unos diez millones de años. Admitían que la intensidad de estas extinciones variaba considerablemente. Hay tres que se pueden clasificar como catástrofes de gran importancia; en el resto de los casos la desaparición fue mucho más acentuada.

Como es de esperar, la publicación de su estudio despertó gran interés. Numerosos análisis estadísticos parecían confirmar sus observaciones, para satisfacción de

Extinciones periódicas

Con los censos de la historia de la vida de la Tierra se ha podido afirmar que hay periodos de abundancia interrumpidos por periodos de rápido declive (extinción). Una baja a finales del Cretácico no es más que una de las que se sabe que han tenido lugar.

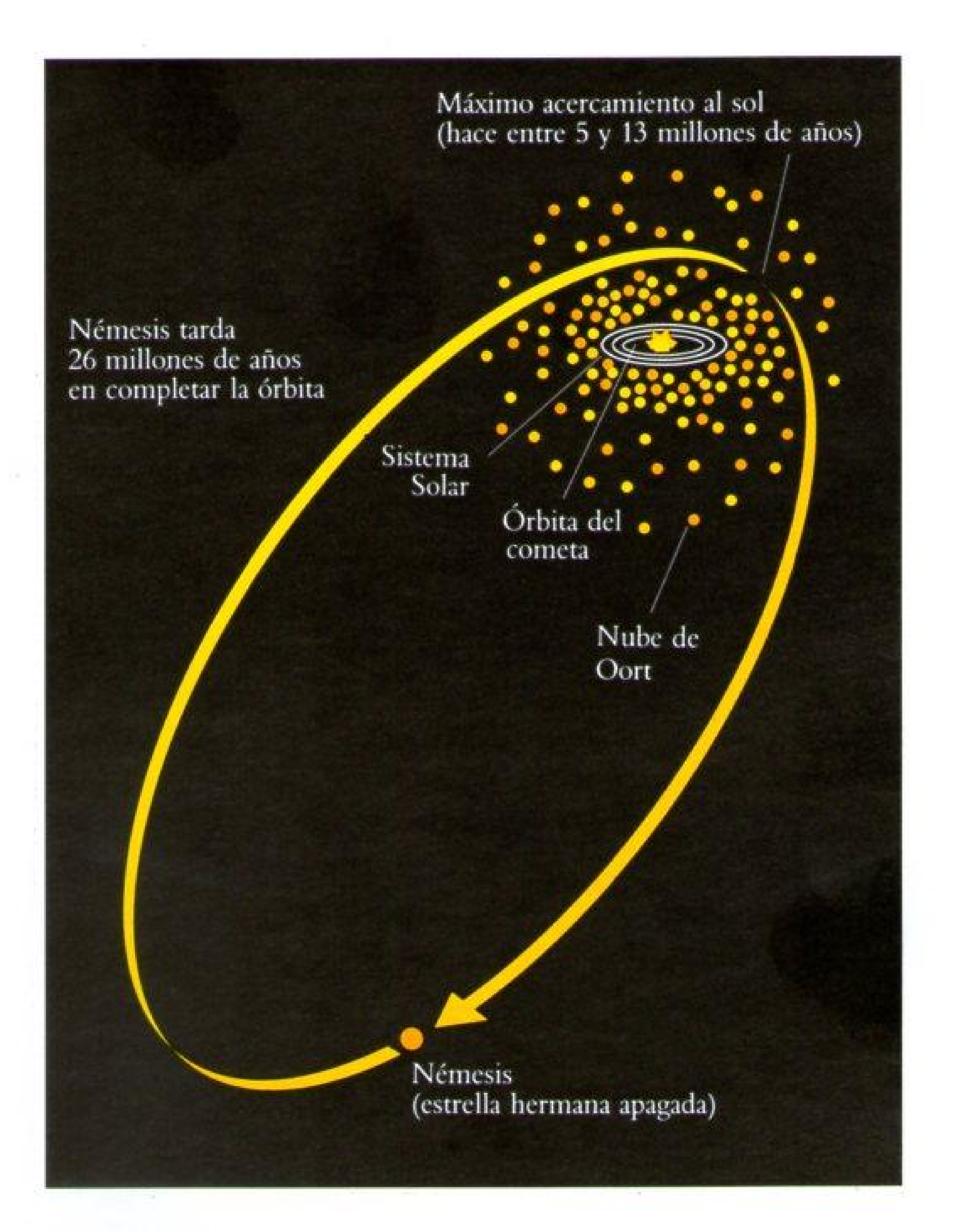


muchos. No obstante quedaba una pregunta por responder: ¿Qué acontecimiento se cumple en ciclos de veintiséis millones de años?

La estrella de la muerte

Los astrofísicos dieron una rápida respuesta a este interrogante exponiendo una variedad de mecanismos que, si bien posibles, no eran más que resultado de la especulación, como erupciones solares periódicas, o «tambaleos» de nuestra galaxia. Ninguna de estas propuestas ha sido tomada muy en serio, pues la dificultad principal reside en cómo demostrar ciclos regulares de veintiséis millones de años para estos acontecimientos. Esta cuestión también despertó, naturalmente, el interés del profesor Luis Álvarez en Berkeley. Parece que Álvarez mostró desacuerdo con el modelo de extinción regular propuesto por Sepkoski y Raup; pero un anterior discípulo de Álvarez, el doctor Richard Muller, no mantenía el mismo punto de vista y los dos científicos continuaron discutiendo el tema durante varios meses. Finalmente Muller propuso una idea nada disparatada: el Sol tenía una estrella hermana. Muchas de las estrellas de la galaxia tienen pareja, así no hay razón para creer que nuestro Sol no tenga su pareja. Propuso que la estrella hermana y nuestro Sol realizaban entre sí una órbita de veintiséis millones de años, y que cada vez que la estrella se acercaba a nuestro sistema solar su campo de gravedad alteraba a los asteroides situados en el cinturón entre los planetas Marte y Júpiter. Los asteroides, despedidos de sus órbitas originales, se precipitarían por todo el sistema solar, y la Tierra recibiría su parte de meteoritos.

Por desgracia esta teoría plantea dos problemas. En primer lugar, hasta el momento no se ha descubierto ninguna estrella que acompañe a nuestro Sol; en segundo lugar una órbita de veintiséis millones de años no se conformaba a una órbita para la estrella hermana que afectara al cinturón de asteroides. Finalmente, el doctor Piet Hut, de Princeton, propuso una solución: la estrella de Muller no alteraba el cinturón de asteroides durante su órbita solar, sino que de hecho atravesaba la Nube de Oort de residuos interestelares que se supone se encuentra más allá de la órbita de Plutón y que parece ser punto de origen de cometas. En este modelo la órbita propuesta para la estrella gemela sí que se mantenía estable en ciclos de veintiséis millones de años. Una alteración de la Nube de Oort podría provocar una lluvia de cometas sobre el sistema solar. En 1984 Muller y sus colegas anunciaron esta teoría formalmente y propusieron que la estrella hermana, aún por identificar, recibiera el nombre de Némesis, referencia a la diosa de la mitología griega que persigue implacablemente a los ricos y orgullosos.



La teoría de Némesis. *La Estrella de la Muerte, una estrella hermana de nuestro sol, se mueve dibujando una órbita elíptica en torno a nuestro sistema solar. Cuando se aproxima a nuestro sol atraviesa la Nube de Oort, precipitando cometas y otros restos cósmicos hacia la tierra. Si Némesis realiza su órbita cada 26 años se explicaría la regularidad de las extinciones en masa de nuestro planeta.*

Naturalmente han surgido numerosas objeciones a la teoría de Némesis. La supuesta estrella sigue sin mostrarse a ojos de los astrónomos, aunque Némesis puede ser una pequeña estrella enana apagada, y consiguientemente difícil de ver. También plantea dudas que la órbita de Némesis tenga que ser tan ancha, pues la atracción de gravedad del Sol sería muy débil y bien podría continuar vagando por la galaxia en vez de volver al sol.

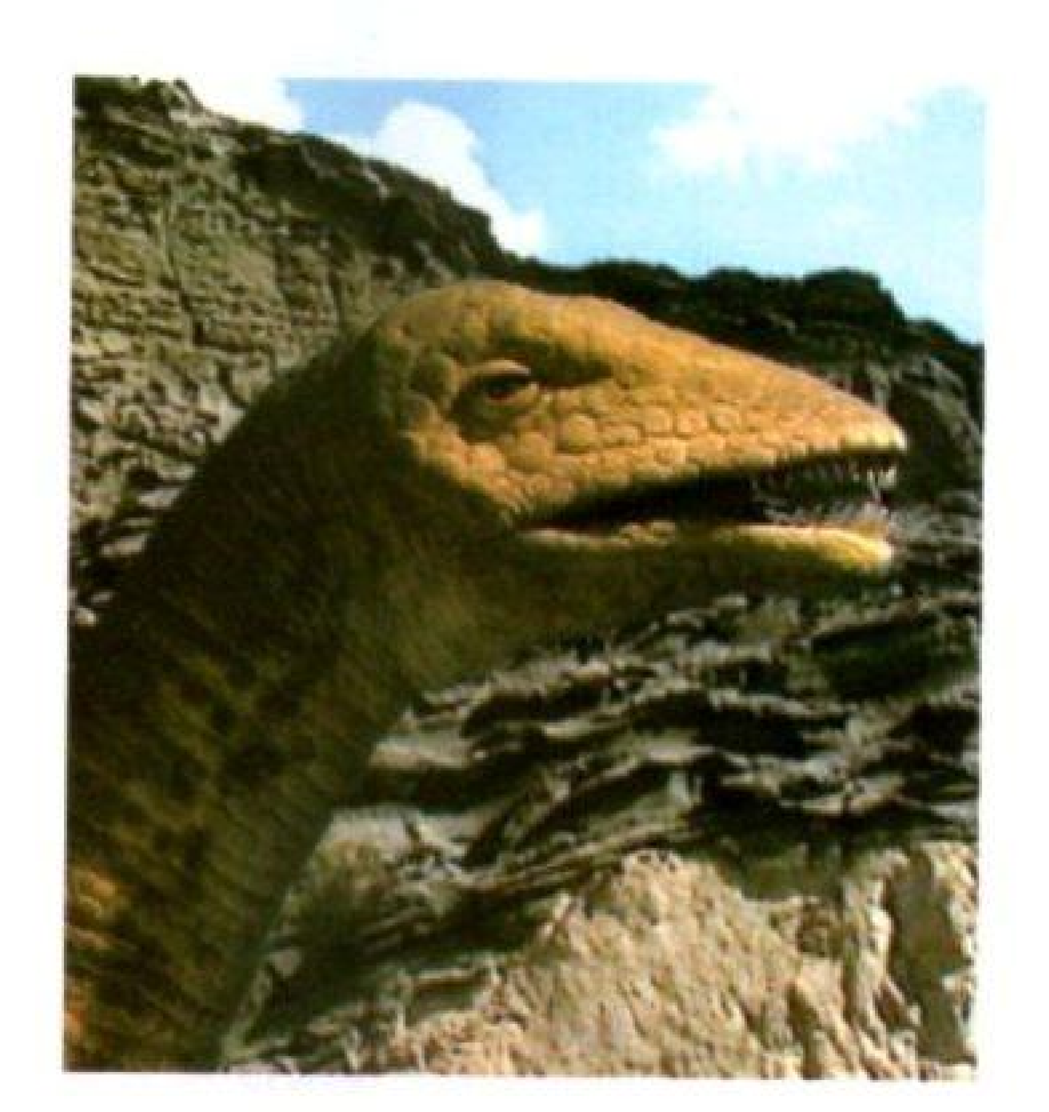
¿QUÉ NOS DEPARA EL FUTURO?

Está claro que la discusión aún no ha terminado. La búsqueda de Némesis aún continúa, y sin duda surgirán nuevas teorías apoyadas en nuevos datos, o como resultado de la puesta a punto de las teorías ya expuestas.

CAPÍTULO OCTAVO

UN ENFOQUE PERSONAL

MUCHO de lo que he escrito hasta ahora me parece ser lo que se esperaría de un científico. El tono es impersonal, como el de un observador desinteresado seleccionando este o aquel razonamiento del debate con infinita sabiduría. Desde luego mi única sabiduría consiste en poder, a través de los años, examinar cómo han ido evolucionando los razonamientos, y escoger aquellos que parecen haber sobrevivido mejor. El lector no habrá podido hasta ahora hacerse mucha idea de lo que yo pienso como paleontólogo sobre los dinosaurios y los debates que rodean a estas criaturas asombrosas.



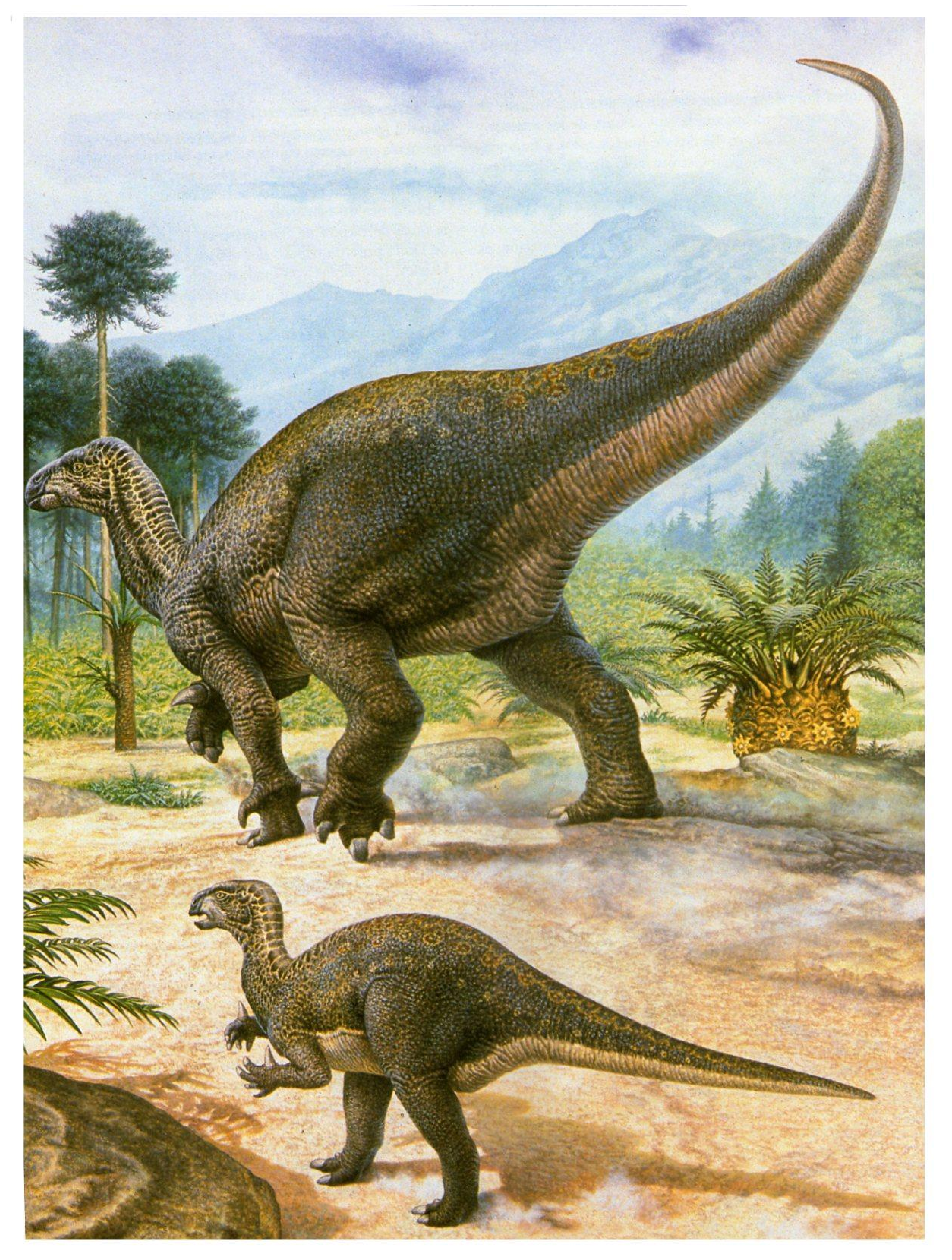
Para compensar eso me gustaría examinar parte de la investigación que he llevado a cabo estos últimos años, y resumir brevemente cómo creo que vivían los dinosaurios y por qué prosperaron tanto durante el Mesozoico.

Me introduje en el mundo de los dinosaurios con el *Iguanodonte,* uno de los primeros dinosaurios que se estudiaron. Gideon Mantell fue la primera persona que lo mencionó y lo describió en 1825, y en 1841 se convirtió en uno de los tres miembros fundadores de los Dinosaurios del Profesor Owen. Desde entonces ha sido objeto de abundante investigación para los paleontólogos británicos y europeos.

Louis Dollo dedicó gran parte de su carrera al estudio de numerosos Iguanodontes hallados en una mina de carbón en Bélgica. Puede que mi elección no pareciera muy acertada ya que, según dicen (y es una argumentación que oí, a menudo cuando empecé con este trabajo), todo el trabajo importante sobre este animal ya está hecho. ¿Por qué no fijarse en algo nuevo y aún por examinar? Probablemente eso daría resultados más interesantes.

Eso es cierto, por supuesto, pero —y tiene que haber un pero— a veces se obtienen resultados inesperados examinando de nuevo a los animales. Las ideas, actitudes y técnicas cambian con el tiempo y pueden generar nuevas ideas, observaciones o teorías, especialmente cuando se refieren a asuntos «antiguos». La paleontología puede estudiarse de varias maneras, y en estas últimas décadas esto se está pudiendo apreciar cada vez más. Una línea de investigación está ilustrada por el trabajo de Jack Horner, que ha sacado a la luz descubrimientos totalmente nuevos y apasionantes, como los emplazamientos de los nidos y los restos embrionarios de dinosaurios durante su trabajo sobre el terreno en Montana. Estos descubrimientos han generado nuevos datos y teorías sobre la vida y las costumbres de los dinosaurios que antes eran inimaginables.

Arriba. *Un* Diplodocus *contempla el paisaje de finales del Jurásico de Norteamérica. La cabeza, asombrosamente pequeña, tiene las ventanas de la nariz situadas en la parte de arriba, casi entre los ojos.*
Derecha. *Esta es una de las más modernas ilustraciones del* Iguanodonte *mostrando sus posturas alternativas. Los adultos se desplazaban casi siempre sobre sus cuatro patas, mientras que los más jóvenes o más pequeños sólo se apoyaban sobre dos patas.*



Otra línea de investigación, menos atractiva, consiste en estudiar detenidamente las colecciones de los museos y registrar los cajones llenos de huesos rotos y fragmentos. Así es cómo John Ostrom halló algunas claves esenciales sobre el origen dinosáurico de los pájaros. Otro tipo de investigación es estudiar de nuevo los ejemplares después de que hayan transcurrido muchos años y de que hayan cambiado las técnicas de interpretación; es un modo de comprobar viejas ideas, pero a menudo produce sorpresas. Finalmente, por supuesto, hay un enfoque «sintético» que trata de usar los elementos de todos estos métodos buscando un punto de vista verdaderamente equilibrado. Todas estas tendencias son seguidas hoy día por investigadores en museos y universidades de todo el mundo, y la contribución de cada una es esencial para el adecuado progreso del tema en cuestión.

Cómo se sostenía y caminaba el *Iguanodonte*

Las teorías sobre la postura de este animal tienen una historia de 150 años que traza la evolución y el desarrollo del pensamiento científico sobre la estructura, y hasta cierto punto sobre las relaciones de los dinosaurios.

En su primer trabajo sobre este animal, Mantell, ayudado y orientado por Cuvier, llegó a pensar que los dientes que había descubierto pertenecían a un lagarto extinguido emparentado con las iguanas que conocemos, sólo que tenían 18 metros de largo. En la década de 1830 aportó un toque de realidad a esta opinión realizando un dibujo del animal restaurado (ver página XX).

La versión del *Iguanodonte*-lagarto de Mantell no duró mucho. En 1841 Owen proporcionó un modelo totalmente distinto de este animal en tanto que dinosaurio, aunque tampoco disponía de muchas más pruebas que Mantell. Calculaba que no medía más de 30 pies (9 metros) de largo, que tenía cuatro patas robustas y un cuello y una cola cortos y que se parecía a un rinoceronte gigantesco y escamoso como los que se ven en Crystal Palace, creados bajo la supervisión de Owen en 1854.

Los dinosaurios no eran lagartos, como pensaban Mantell y otros. Eran reptiles exóticos, superiores a cualquier especie moderna y mucho más similares a los grandes mamíferos tropicales de hoy en su estructura física. Teniendo en cuenta los fósiles disponibles de entonces, la propuesta de Owen era muy perspicaz, pero su modelo tampoco iba a durar mucho. A finales de la década de 1850, las opiniones empezaron a dudar de la exactitud de los modelos de Owen. Su propia investigación revelaba varias inconsecuencias. A finales de la década de 1860, los dinosaurios de Owen fueron despiadadamente derrocados por Thomas Huxley a favor de un modelo mucho más semejante a un pájaro.

Huxley pudo señalar varias características en la anatomía del *Iguanodonte* similares a las de un pájaro, y sugirió que tenía un aspecto completamente diferente, muy parecido al que Joseph Leidy propuso para el *Hadrosaurus*. En 1878 la teoría de Huxley se hizo realidad con el descubrimiento de esqueletos completos de *Iguanodonte* en la mina de carbón de Bernissart, en Bélgica. El trabajo de Dollo pagó un tributo al de Mantell, Owen, Leidy y Huxley, que desvelaron gradualmente la verdadera naturaleza de este dinosaurio. Las proporciones de los esqueletos se asemejaban curiosamente a las de los canguros, confirmando la opinión de Leidy, y las caderas y las patas presentaban características similares a las de los pájaros, tal y como Huxley había predicho. Del estudio minucioso de los esqueletos surgieron, por supuesto, cambios y sorpresas, como la clara demostración de que el cuerno cónico que Mantell situaba encima del hocico era en realidad una uña agrandada de pulgar.

La reconstrucción del *Iguanodonte* de Dollo ha suscitado un interés casi universal desde principios de la década de 1880. Este dinosaurio de unos 4 metros y medio de altura suele representarse comiendo hojas de los árboles y usando su cola como un bastón que le sirve de asiento mientras alcanza las ramas altas. Las investigaciones de Dollo habían sugerido que el espinazo estaba constituido para soportar esta postura del animal, y aquello era al menos parte de la función de los huesos que lo formaban. En resumidas cuentas, Dollo pensaba que este dinosaurio era el equivalente ecológico de la jirafa moderna. Incluso descubrió pruebas de una lengua prensil, confirmando así que la naturaleza de este dinosaurio era similar a la de la jirafa.

A pesar de la preeminente postura de Dollo con respecto al *Iguanodonte,* Gerhard Heilmann, autor del importante libro *The Origin of Birds* (ver página XXX), presentó una reconstrucción muy dinámica del *Iguanodonte.* Sin embargo esta interpretación parece haber sido derrocada por el propio trabajo de Dollo. Teniendo en cuenta que Dollo disponía de esqueletos completos para trabajar, no es sorprendente constatar que su reconstrucción personal de este dinosaurio fue universalmente aceptada. No obstante, un examen posterior de este material ha revelado varios detalles sorprendentes.

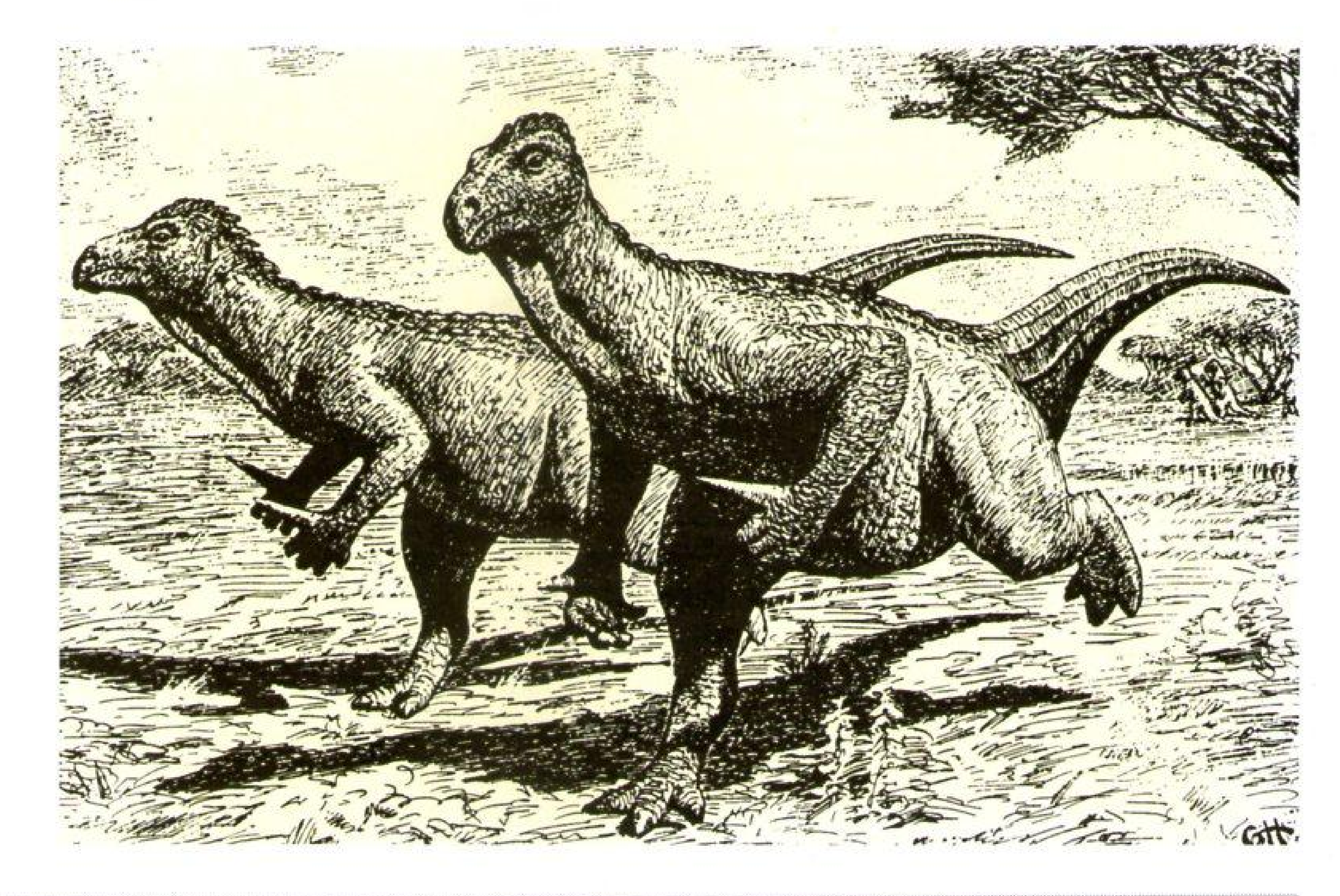
La cola del *Iguanodonte,* curvada hacia arriba, nos da el punto de partida para examinar de nuevo la postura de este dinosaurio. Todos los esqueletos descubiertos en la mina de Bernissart —algunos de los cuales se encuentran expuestos en la misma postura en que fueron encontrados, en el museo de Bruselas— parecen tener colas que se mantienen erguidas o ligeramente inclinadas hacia abajo en sus puntas. La disposición de los tendones óseos a lo largo de las vértebras nos hace suponer que ésa era efectivamente su postura cuando el animal vivía. Pero un examen cuidadoso de algunos de los es-

Los aspectos cambiantes del *Iguanodonte*

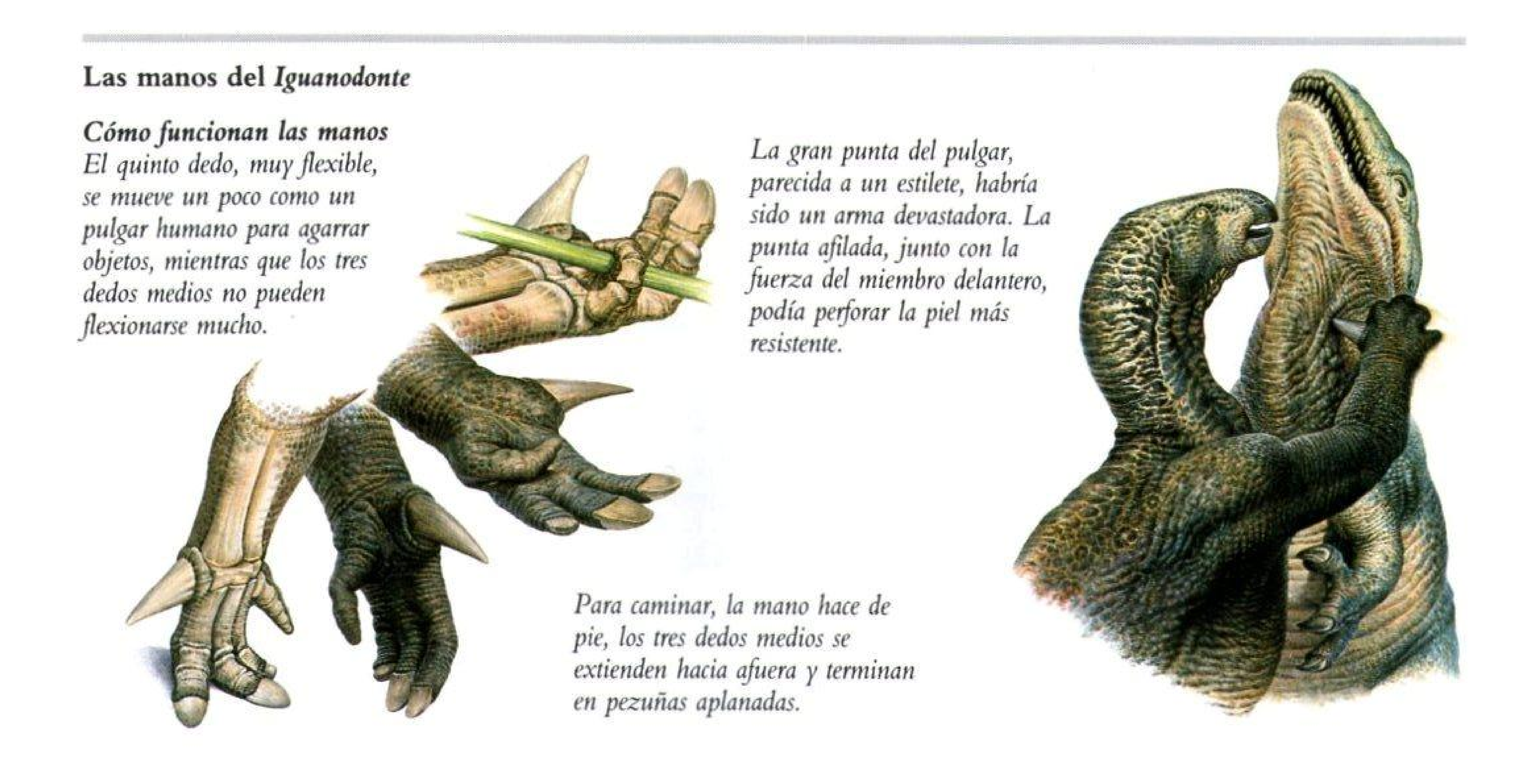
Derecha. *El modelo de Hawkins para el* Iguanodonte *del Crystal Palace puede parecernos anticuado ahora, pero en aquella época esta criatura parecida a un oso era la última interpretación que la ciencia podía ofrecer.*

Izquierda. *El esqueleto del* Iguanodonte, *tal como lo reconstruyó Louis Dollo a principios de la década de 1880, muestra al animal en una postura parecida a la del canguro que le permite erguirse para buscar alimento en las copas de los árboles.*

Derecha. *Este dibujo que hizo Heilmann en 1916 muestra dos* Iguanodontes *moviéndose con agilidad, lo cual contrasta fuertemente con una restauración mucho más lenta y pesada que presentó unos 10 años más tarde.*



Las manos del *Iguanodonte*



Cómo funcionan las manos
El quinto dedo, muy flexible, se mueve un poco como un pulgar humano para agarrar objetos, mientras que los tres dedos medios no pueden flexionarse mucho.

La gran punta del pulgar, parecida a un estilete, habría sido un arma devastadora. La punta afilada, junto con la fuerza del miembro delantero, podía perforar la piel más resistente.

Para caminar, la mano hace de pie, los tres dedos medios se extienden hacia afuera y terminan en pezuñas aplanadas.

queletos nos revela que la cola ha sido partida para que quedara curvada hacia arriba. Dollo hizo que su dinosaurio concordara con las ideas de Huxley y Leidy dándole una cola de canguro.

Si observamos esl equeleto simplemente desde el punto de vista mecánico, comprobaremos que al enderezar la cola el animal se inclina hacia adelante y hacia abajo, equilibrándose en las caderas. Esta disposición tiene mucho sentido, ya que permite que los tendones óseos, igualmente distribuidos por delante y por detrás de las caderas, sostengan mejor el espinazo en tensión. El bajar el pecho hasta el suelo también pone en tela de juicio la función de las patas delanteras y las manos. Las patas son largas y relativamente fuertes, y tanto el pecho como los hombros tienen una fuerte estructura ósea. Eso indica que las patas podían haber servido para movimientos más enérgicos que el de agarrar ramas.

El examen de las manos parece confirmarlo claramente. Los huesos de la muñeca, que en otros dinosaurios bípedos son pequeños y redondeados para que la mano pueda moverse libremente, aquí son gruesos, en forma de tacos, y están unidos entre sí por un tejido óseo que parece ser capas de ligamento convertidas en hueso para reforzar la muñeca y reducir la movilidad de la mano.

Los huesos de la mano se han modificado de modo sorprendente. El primer dedo, que corresponde a nuestro pulgar, tiene el hueso de la palma (metacarpiano) muy pequeño, que en realidad está soldado con la muñeca. El resto del dedo consiste en dos huesos. El primero, pequeño y plano, está inserto en el metacarpiano y encaja en un hueco de la articulación superior. Esta articulación tiene forma de cono y es muy grande. Evidentemente estaba cubierta por una garra muy larga y puntiaguda. El dedo forma un ángulo recto con la muñeca, apuntando en sentido opuesto a los demás dedos de la mano. Está claro que no servía para agarrar, sino que más bien era utilizado como un estilete en los combates con los otros dinosaurios.

Los dedos segundo, tercero y cuarto tienen proporciones más normales. Cada uno tiene un largo metacarpiano, mientras que los huesos de los dedos son cortos y en forma de tacos, terminando en garras anchas y aplanadas que se asemejan a pezuñas. Estos huesos también son curiosos porque en vez de doblarse hacia dentro y así poder ser usados para agarrar objetos, tienen unas articulaciones que les permiten doblarse hacia atrás y extenderse por separado exactamente igual que los dedos de las patas traseras.

El quinto dedo también se diferencia de los demás. El metacarpiano se aparta de los otros y a pesar de ser corto es muy móvil, pudiendo moverse libremente al lado de la muñeca. Lo mismo que el pulgar, todo el dedo diverge claramente de los demás. Los huesos del extremo se estrechan formando una punta delgada, y también parecen ser muy móviles. La disposición de los huesos en el quinto dedo es más propia de un dedo típico de una mano que agarra, combinando esbeltez y flexibilidad y careciendo de garra grande.

En realidad, el *Iguanodonte* tenía una mano increíblemente especializada, mucho más que cualquier otro ani-

mal. Tenía un pulgar que usaba como arma defensiva. Los tres dedos centrales le servían para caminar, pues, de lo contrario, ¿por qué iban a acabar en pezuñas? Esta función también explica el gran refuerzo de los huesos de la muñeca. El quinto dedo servía para agarrar normalmente.

Estos datos sobre la mano, junto con las observaciones sobre la espina dorsal, sugieren una postura y un modo de locomoción para el *Iguanodonte* totalmente distintos de los que le atribuía Dollo. Normalmente, la columna vertebral se mantenía horizontal, y las manos servían para andar —aunque la mayor parte del peso del cuerpo reposaba sobre las patas trasera. Esta postura se parece mucho menos a la de un pájaro o un canguro. No obstante, la especialización del pulgar como arma defensiva, y del quinto dedo para agarrar, indica claramente que el animal tenía la habilidad de erguirse sobre sus patas traseras. La altura puede ser una ventaja para luchar contra depredadores y además habría permitido a estos animales alcanzar los árboles, como supuso correctamente Dollo. El dedo prensil puede haber sido usado para agarrar ramas o deshojarlas.

No hay duda de que el *Iguanodonte* caminaba sobre cuatro patas al menos parte del tiempo, pero algunos indicios señalan un posible cambio en el modo de locomoción a medida que iban creciendo estos dinosaurios. Las patas delanteras de los más pequeños parecen ser proporcionalmente más cortas que las de otros totalmente desarrollados. Esto nos da a entender que los dinosaurios jóvenes pueden haber pasado mucho más tiempo corriendo únicamente sobre sus patas traseras. Si fuera cierto, parece tener cierto sentido biológico. Los más pequeños habrían sido relativamente más vulnerables a los predadores que los adultos, más desarrollados, aunque el ser más ágiles y correr más deprisa habría sido una ventaja para su supervivencia.

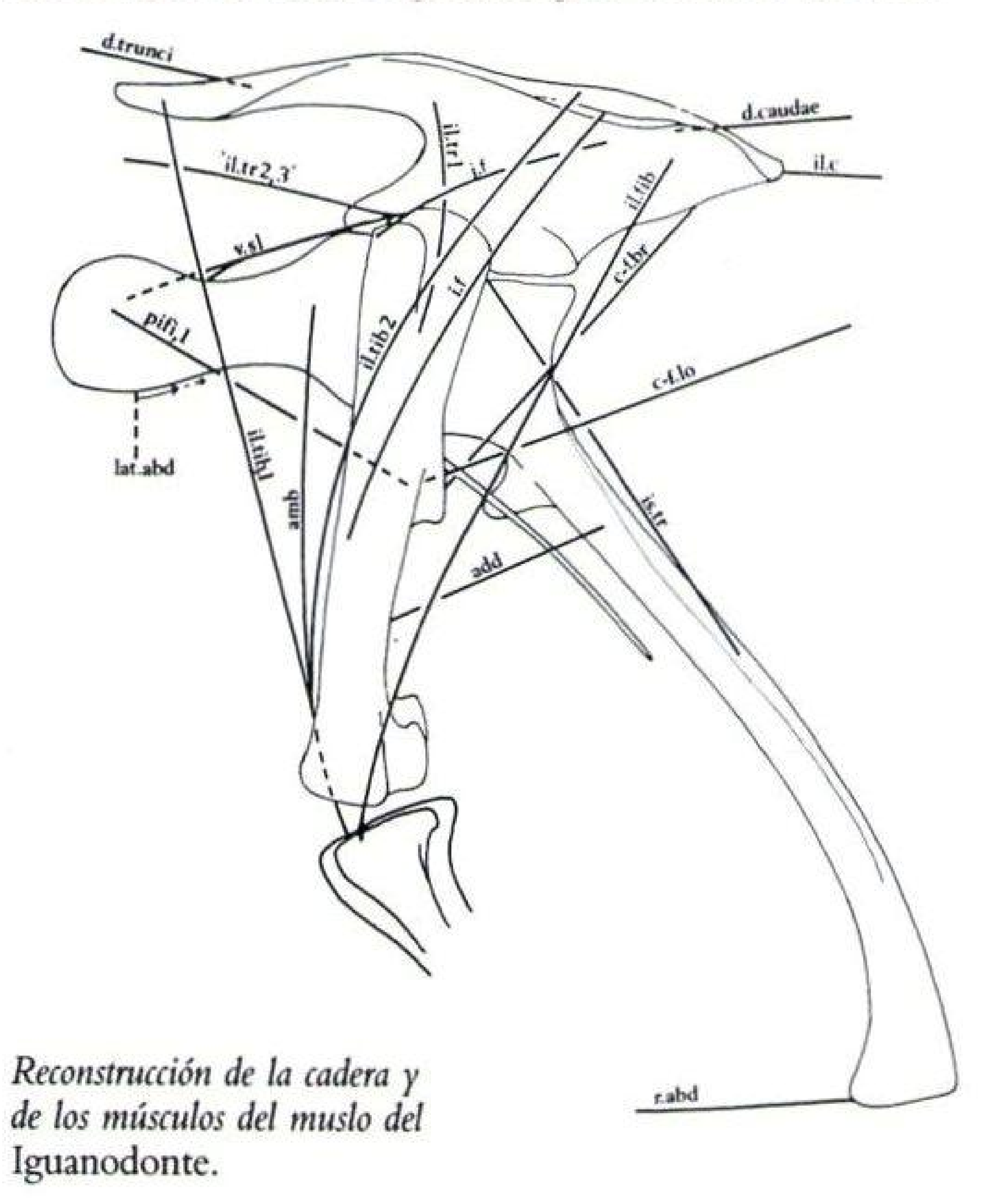
Músculos, cerebro, nervios y sangre

El aspecto mecánico y la disposición de los huesos pueden aclarar con todo detalle cuáles eran la forma y la postura de este animal, pero los huesos mismos también pueden ofrecer indicios sobre los tejidos blandos, en particular por lo que respecta a sus potentes músculos. Los músculos, especialmente los de los miembros, tienen que ser fuertes y estar muy firmemente afianzados en los huesos de las patas. Están ligados por capas resistentes de tejido conjuntivo o por tendones como cuerdas. El hueso suele estar más áspero allí donde se junta con los tendones o las capas de tejido, y en algunos casos se forman crestas, aristas o espolones.

Si examinamos en detalle la superficie de los huesos de las patas, hombros y caderas, descubrimos un modelo de «cicatrices de músculos» en los huesos que indica dónde estaban situados los músculos y, en algunos casos, los potentes que eran. Está claro que nunca podremos reconstruir todos los músculos de un animal extinguido con estos datos, ya que muchos músculos no dejan pruebas tan claras de su punto de fijación. Sin embargo podemos hacernos una idea de la distribución de algunos de los músculos más importantes de los miembros móviles. A la información que nos facilitan las cicatrices tenemos que añadir otros indicios importantes que provienen de las disposiciones musculares de los parientes vivientes de los animales fósiles, en este caso de las aves y de los cocodrilos.

El resultado de estos trabajos se plasma en los dibujos técnicos que indican las direcciones y las disposiciones de los músculos en algunas de las partes más importantes del cuerpo, como son las caderas, los hombros y la cabeza. Otras partes del cuerpo no muestran huellas tan claras de la fijación del músculo y por lo tanto no pueden reconstruirse tan detalladamente.

Resulta aún más difícil poder descubrir algo acerca de tejidos más blandos que los músculos. Por ejemplo, alrededor y dentro de la cabeza hay muchos huecos en el hueso que hacen de contenedores de tejido blando (como la cavidad cerebral y las órbitas) o de conductos para los nervios y los vasos sanguíneos. Una vez muerta y enterrada cualquier criatura, estos tejidos blandos se descomponen rápidamente, y los huesos se llenan de sedimento. Cuando el sedimento y el hueso están fosilizados suele ser difícil separarlos para descubrir la forma



Reconstrucción de la cadera y de los músculos del muslo del Iguanodonte.

de las cavidades. Los huesos también pueden estar triturados o deformados, y en ese caso resulta imposible hacerlo.

No obstante, alguna que otra vez se encuentran ejemplares que tienen las cavidades de la cabeza llenas de un sedimento claramente distinguible, formando un «molde natural» de su forma. Uno de ellos es precisamente el de un *Iguanodonte*. Fue uno de esos hallazgos que se hacen en los cajones de los museos, en este caso en los del Museo de Historia Natural de Londres. Consistía en la parte posterior de un gran cráneo cuyos huesos estaban en muy malas condiciones. Al examinarlo me di cuenta de que la caja craneal podía estar todavía intacta y rellena de un sedimento muy duro.

Corté el ejemplar con una sierra de diamante y resultó evidente que dentro había un molde natural de la cavidad craneal. Peter Whybrow, que trabajaba en el laboratorio del museo, estuvo varios meses extirpando cuidadosamente el hueso de la caja craneal para exponer la cavidad interior rellena de piedra, y los resultados fueron espectaculares.

El ejemplar mostraba la forma de la cavidad donde estuvo situado el cerebro, los pasajes de todos los nervios que se dirigen al cerebro o parten de él (incluso los que van hasta la nariz, los ojos, los oídos, la boca y la lengua), los conductos por donde llegaba la sangre al cerebro y la estructura detallada del oído interno, incluyendo la zona de audición (lagena) y los órganos del equilibrio (laberinto óseo). También se podía apreciar la forma de la glándula pituitaria en el fondo de la cavidad craneal, justo debajo del cerebro.

Gracias a este afortunado descubrimiento hemos podido saber algo sobre la talla y la forma del cerebro de este dinosaurio, su sensibilidad a distintos estímulos, la agudeza de su oído y su sistema circulatorio.

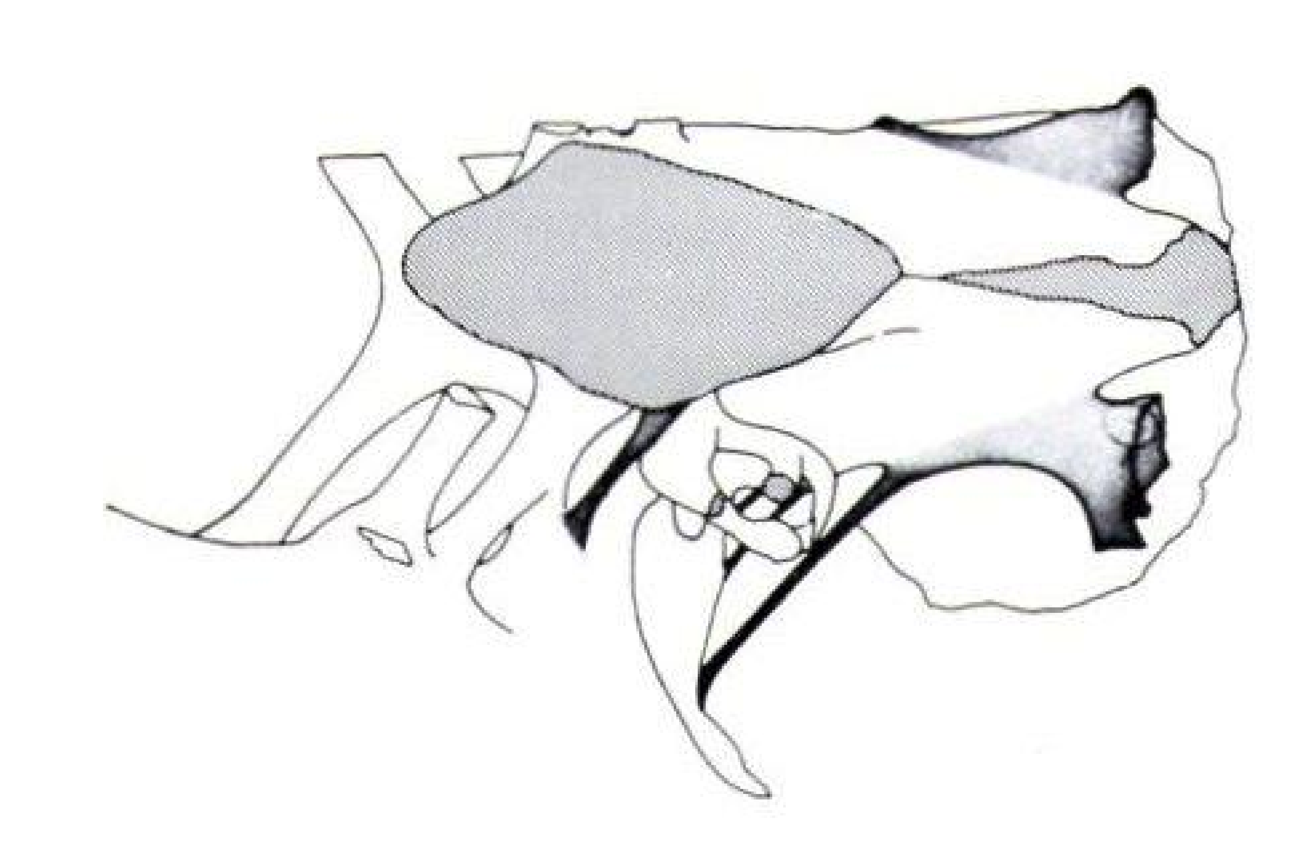
Cómo se alimentaba el *Iguanodonte*

Los músculos de la mandíbula son fuertes y dejan unas cicatrices distintivas en los huesos de las mandíbulas y del cráneo que nos permiten reconstruir un modelo de los músculos de la cabeza. Pero la forma y la disposición de las mandíbulas y de los dientes nos informan mejor sobre los hábitos alimenticios de una criatura. El estado de los dientes indica muy claramente cómo se movían las mandíbulas. Los carnívoros tienden a tener mandíbulas muy parecidas, y sus dientes son punzantes y cortantes, ya que la carne, sea del animal que sea, tiene más o menos la misma consistencia. Los herbívoros lo tienen más difícil. Los vegetales son muy fibrosos y requieren un «proceso alimenticio» para poder ser digeridos

Descifrando lo evidente



Izquierda. *Para los paleontólogos, este trozo de fósil poco prometedor proporciona una información detallada sobre la estructura del cerebro del* Iguanodonte. *Es un molde natural de la cavidad craneal donde estaba situado el cerebro.*



Derecha. *Este gráfico hace resaltar los detalles del molde identificando las posiciones de los tejidos blandos, las venas, los pasajes de los nervios y los órganos sensoriales. Con semejante información se puede tener una visión de cómo funcionaba el cerebro y, por tanto, el animal.*

que tendrá lugar en la boca o en el estómago, según la estrategia empleada por cada animal.

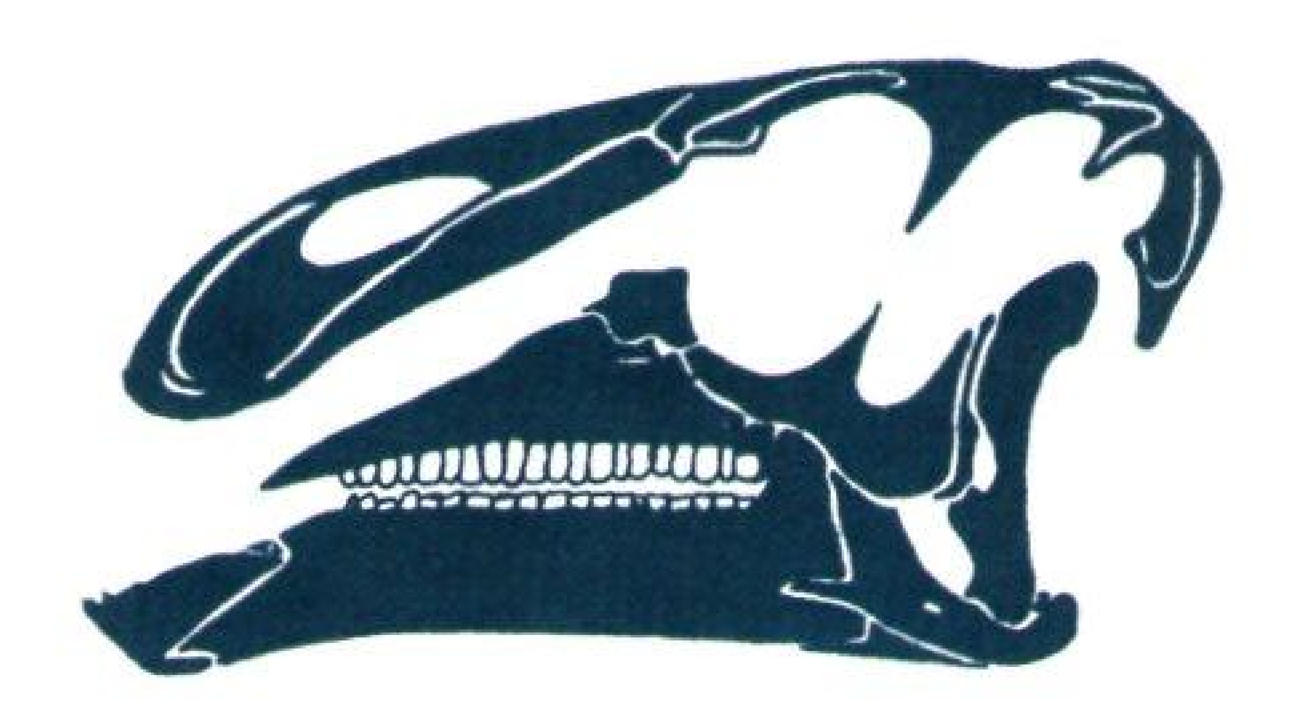
El *Iguanodonte* tenía una cabeza grande y con una forma parecida a la del caballo, provista de muchos dientes; está claro que trituraba más con la boca que con el estómago. Su gran tamaño implica una dieta sustanciosa, y eso a su vez obliga al animal a ser lo más eficiente posible en su modo de conseguir su alimento.

Como en todos los dinosaurios ornitisquios, no hay dientes en los extremos de las mandíbulas. El *Iguanodonte* tiene un gran pico puntiagudo; en vida, el hueso habría estado cubierto de un pico externo, afilado y córneo, parecido al de la tortuga. El borde delantero del pico era irregular, y esto probablemente lo hacía más cortante. Esta disposición es ideal para un herbívoro, no sólo porque el pico es afilado y sirve para cortar plantas muy resistentes, sino también porque no hay peligro de que se desafile durante la vida del animal ya que el cuerno que forma el pico crece constantemente, y la capa exterior es más dura que la interior, se desgasta angularmente y siempre tiene un borde cincelado.

Los reptiles que se alimentan de plantas hoy día no mastican su comida. Las tortugas y varios lagartos (incluyendo a las iguanas) simplemente toman un bocado y engullen la comida sin más miramientos; dejan que su estómago se ocupe de digerirla lentamente. Sus dientes y sus picos lo reflejan; sus dientes son sencillos y están bien conservados. Los dinosaurios como el *Iguanodonte* no parecen haber tenido un acceso tan ocioso a la digestión de las plantas. Sus mandíbulas están equipadas con hileras de grandes dientes en forma de hoja, cincuenta o más en cada mandíbula, que encajan unos con otros formando depósitos trituradores. Los dientes también se desgastan angularmente a lo largo de la superficie de trituración. Los rayados en las superficies desgastadas de estos dientes muestran muy claramente que estos reptiles eran unos masticadores muy competentes.

Los dientes están profundamente implantados en los lados de la boca, dejando una zona en forma de bolsa contra el lado de la cara. Tal como lo demostró el profesor Bichard S. Lull, y mucho más tarde el profesor Peter Galton, de la Universidad de Bridgeport, esta disposición indica la presencia de bolsas carnosas en los carrillos, donde quedaba atrapado el alimento cortado por los dientes. No se conoce a ningún reptil viviente con tales bolsas. Este es un rasgo exclusivo de los mamíferos en el mundo moderno, pero entonces —como demostraré después— estos no eran unos reptiles corrientes. Las bolsas de los carrillos son necesarias para poder masticar eficazmente sin dejar caer comida.

La estructura de los huesos del cráneo y el modo en que se acciona la mandíbula son bastante notables. Un eje flexible cruza el lado de la cara desde detrás de la zona del pico hasta el punto más alto de la parte posterior de la cabeza, pasando por la órbita ocular. Este eje permite que los dientes de la mandíbula superior se muevan hacia adentro y hacia afuera cuando las mandíbulas se abren y se cierran. Cuando están cerradas, los dientes de la mandíbula inferior se deslizan por los lados internos de los dientes superiores, empujándolos hacia afuera. Los movimientos de los dientes superiores están limitados por unos ligamentos muy fuertes dentro del cráneo.



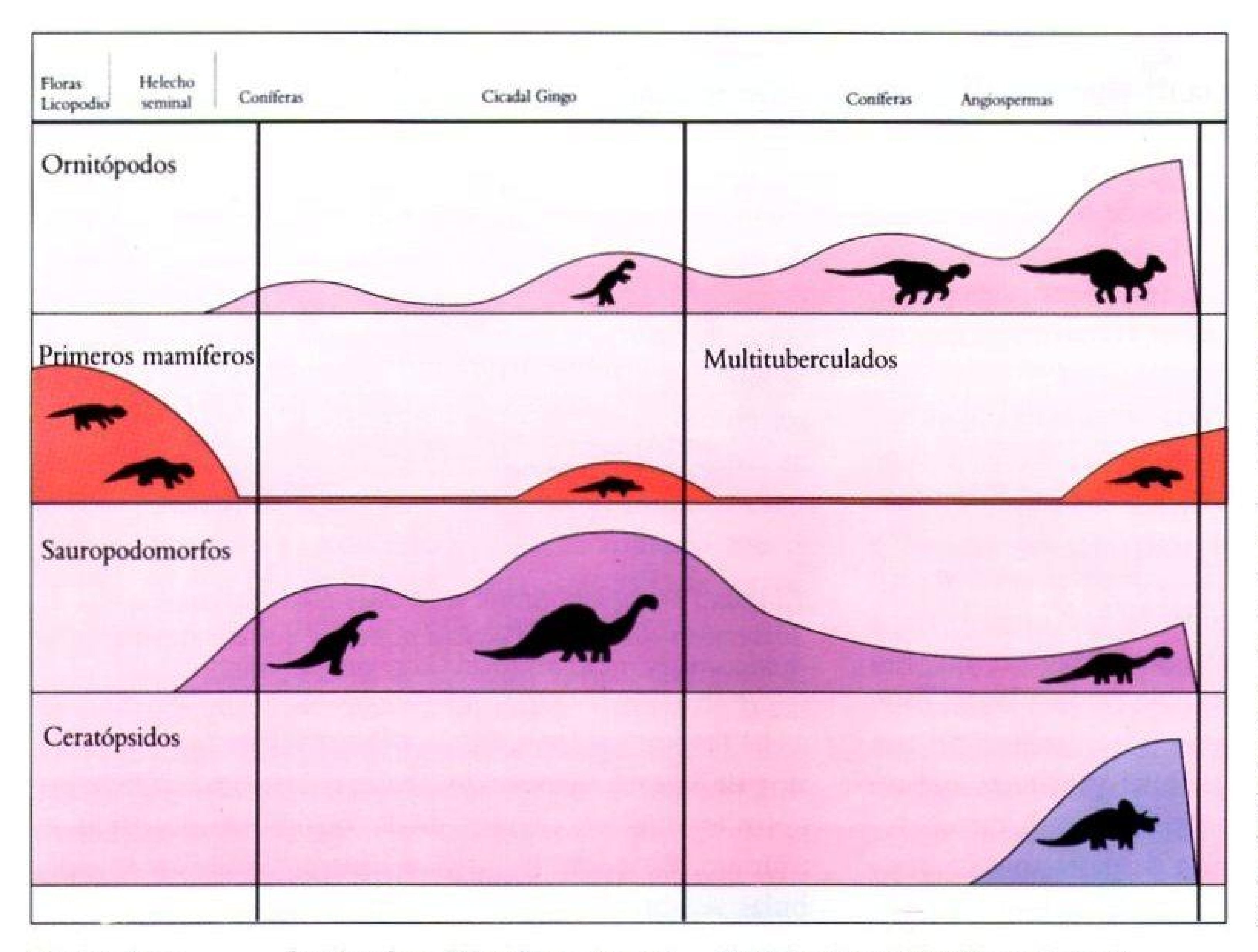
El cráneo del Iguanodonte *tenía unos ejes importantes que atravesaban el lado de la cara, y permitían que el animal moviera la mandíbula superior manteniendo la boca cerrada.*

Este sistema parece extraordinariamente complicado, pero resultaba esencial para una masticación eficaz, que depende del roce mutuo de los dientes. Los mamíferos han resuelto el problema desarrollando mandíbulas inferiores que pueden moverse lateralmente, pero ningún reptil ha sido jamás capaz de hacer eso, ya que los músculos de las mandíbulas de los reptiles sólo permiten movimientos verticales.

Masticación y evolución

Puede que la demostración de que los dinosaurios como el *Iguanodonte* pudieran masticar no parezca tan importante a primera vista. Sin embargo, pienso que esto bien pudo haber tenido una importancia considerable para los dinosaurios, su historia evolutiva y la historia de las plantas de las que se alimentaban.

Después de observar las curiosas mandíbulas del *Iguanodonte,* empecé a fijarme en otros dinosaurios para ver si habían usado el mismo mecanismo, o si éste sólo era propio del *Iguanodonte.* Lo encontré en una variedad de ornitópodos (hypsilofodóntidos), en varios parientes cercanos del *Iguanodonte* y en los hadrosaurios o dinosaurios de pico de pato. Si trazamos la historia evolutiva de los ornitópodos, queda cada vez más claro que originalmente, a principios del Jurásico, eran unos individuos relativamente pequeños y poco comunes entre la población



Si examinamos la historia de los dinosaurios podremos ver cambios generales en las poblaciones que pueden indicar un camino evolutivo a gran escala. Los dinosaurios aparecieron a finales del Triásico y durante el período Jurásico los dinosaurios sauropodomorfos eran más abundantes —fueron los primeros animales capaces de alimentarse de los árboles—. En el período Cretácico, el número de sauropodomorfosdisminuyó, aumentando en cambio el de los ornitópodos y ceratópidos. Puede que estos cambios de destinos reflejaran la abundancia cambiante de las plantas y en particular la aparición de plantas con flor más pequeñas y arbustivas (angiospermas) a principios del Cretácico.

general de dinosaurios. A finales del Jurásico aparecieron cuerpos más grandes, como el *Camptosaurus* y el *Dryosaurus,* aunque seguían siendo relativamente raros —por lo menos eso nos muestran las colecciones de fósiles. Pero en el periodo Cretácico hay un aumento espectacular tanto en el tamaño como el número de estos dinosaurios. A principios del Cretácico no cabe duda de que el *Iguanodonte* era uno de los herbívoros más abundantes. Se han encontrado un gran número de esqueletos o de restos parciales en Europa (Inglaterra, Francia, Bélgica, España, Alemania), en Asia y, más recientemente, en varios lugares de Norteamérica. Las especies no parecen haber sido muy variadas, pero sí abundantes. A finales del Cretácico, los hadrosaurios parecen ser el último modelo de ornitópodos. Los restos que se han hallado, además de numerosos, son muy variados, pues se han identificado muchos tipos diferentes.

El constante aumento de número y variedad entre los ornitópodos durante el Mesozoico parece reflejar al menos parcialmente la disminución igualmente constante de saurópodos, que formaban otro de los principales grupos de dinosaurios herbívoros. Ese cambio en el destino de ambos grupos parece coincidir con el paso de la trituración estomacal (la técnica de los saurópodos) a la trituración bucal. A principios del Cretácico hay también un cambio floral, y esto puede estar, al menos en parte, relacionado con los destinos cambiantes de estos grupos. Las plantas con flores parecen haber hecho su primera aparición a principios del Cretácico, empezando a diversificarse y a predominar a finales de este periodo.

El significado de estos modelos cambiantes de diversidad es actualmente dudoso. Lo que sí es cierto es que existe en términos generales y reflejan cambios fundamentales a largo plazo en diversos grupos. Resulta tentador sugerir que existe alguna conexión entre esos cambios. Por ejemplo, la trituración estomacal de los saurópodos parece ser la estrategia más lograda durante el Jurásico —si entendemos por «logro» la relativa abundancia y diversidad de este tipo de animal entre los fósiles de dinosaurios—. Durante el Cretácico la trituración bucal parece ser una estrategia más acertada, de nuevo reflejada en la abundancia de fósiles de ornitópodos, que superan en número a los saurópodos.

Los saurópodos pueden haber sido tan eficientes alimentándose de vegetación jurásica que dieron una oportunidad evolutiva a nuevas plantas que se reproducían más rápidamente para ganar posición en las zonas despejadas que dejaban a su paso las manadas de saurópodos. Este cambio en las comunidades vegetales pueden haber favorecido la técnica alimenticia usada por los ornitópodos, que en consecuencia aumentaron en número. La «dinoturbación» —el pisar del suelo por los dinosaurios— puede haber sido otro factor (ver página XXX).

Alternativamente, el cambio en los tipos vegetales puede haber sido provocado por cambios climáticos sutiles que tuvieron lugar entre los períodos Jurásico y Cretácico. A principios del Cretácico había ciertamente unas condiciones climáticas algo más áridas que a finales del Jurásico, y esto también podría haber obrado en favor de algunos angiospermas (plantas con flor), más tolerantes

y resistentes. En este caso el cambio entre las poblaciones de dinosaurios habría seguido a los cambios floral y climático, en lugar de ser responsable de ellos.

También es posible que la historia evolutiva de las plantas estuviera influida, no por los dinosaurios ni por los climas, sino por su propia dinámica interna. La competencia creciente entre las especies vegetales por el espacio y la luz puede haber favorecido a aquellas capaces de crecer y reproducirse más deprisa con el fin de colonizar nuevas zonas de tierra.

Ninguna de estas sugerencias constituye una auténtica teoría que explique lo que puede haber ocurrido, en sentido evolutivo amplio, durante el Mesozoico. No obstante, cada sugerencia es valiosa en tanto que proporciona varias hipótesis válidas.

Sospecho que los dos grupos tienen una historia interrelacionada —es decir, muestran una relación coevolutiva en la que los cambios en cada grupo afectan a la historia evolutiva del otro—. Colegas como el Dr. David Weishampel, paleontólogo en la Universidad de Johns Hopkins, Baltimore, el Dr. Bruce Tiffney, paleobotanista en la Universidad de California, Santa Bárbara, y yo mismo estamos estudiando en detalle la calidad alimenticia y la resistencia estructural de las plantas mesozoicas, su distribución y sus preferencias de hábitat y los respectivos datos acerca de las aptitudes alimenticias de los dinosaurios, el poder de su aparato alimenticio y sus pautas de distribución.

El *Iguanodonte* como animal viviente

Mi trabajo sobre el *Iguanodonte* ha sido un intento de hacer revivir a este dinosaurio —algo muy parecido a lo que Louis Dollo trató de hacer desde principios de la década de 1880 hasta la década de 1920—. El hecho de que mis interpretaciones difieran totalmente de las de Dollo no significa que yo sea de algún modo superior a él. Todo su trabajo me ha sido de gran provecho para sacar mis conclusiones. También me he beneficiado de todos los adelantos que ha conocido la ciencia de la paleontología desde la época de Dollo. Aun así, el volumen total de trabajo realizado acerca del *Iguanodonte* puede no parecer muy impresionante en comparación con lo que sabemos sobre cualquier animal viviente.

Se sabe con bastante detalle cómo es la anatomía ósea de este dinosaurio. Se conocen algunas partes de la estructura del cerebro, los nervios craneales, el oído interno, la circulación sanguínea y la pituitaria, así como la anatomía muscular de las caderas y la parte superior de las patas traseras, el hombro y la parte superior de las patas delanteras y también la cabeza y en particular las mandíbulas. Se han encontrado algunos moldes de la piel, por lo que se conoce bastante bien la textura del cuerpo.

Desde el descubrimiento de ejemplares jóvenes, se sabe algo sobre los cambios en las proporciones del cuerpo con el crecimiento. La anatomía y algunos indicios sugieren que los adultos podían caminar sobre las cuatro patas o sólo sobre las patas traseras. Los más jóvenes bien podían haberse desplazado sobre sus patas traseras la mayor parte del tiempo. Con un peso que se calcula entre 1 y 2 toneladas para los adultos, estos animales eran increíblemente ágiles, siendo probablemente capaces de correr a una velocidad de aproximadamente unos 35 kilómetros por hora.

No se han encontrado huevos ni nidos, por lo que no se sabe nada sobre sus aptitudes para la puesta de huevos, o si cuidaban de sus crías. No hay rasgos anatómicos claros, como crestas, adornos o cuernos, que nos permitan distinguir los machos de las hembras.

La abundancia de restos muestra que estos dinosaurios eran muy numerosos en las primeras épocas del periodo Cretácico. Los restos de una aparente inundación repentina en Alemania indican que se desplazaban en manadas. Estos animales eran unos herbívoros de gran tamaño y muy desarrollados, y en términos generales habrían desempeñado un papel ecológico similar al del caballo actual o al de un antílope grande, lo cual concordaría bien con la noción de manadas. La gran punta del pulgar indica que seguramente podían defenderse de los depredadores.

No sabemos nada en absoluto sobre la temperatura corporal de esta criatura, su frecuencia respiratoria o cardíaca, ni sobre sus tejidos y el metabolismo de éstos, aunque el estudio de sus huesos nos ha proporcionado alguna información sobre su crecimiento.

Esta lista es bastante lamentable si la comparamos con los datos que hay sobre cualquier reptil viviente, pero el simple hecho de que exista una lista ya es un logro. Un paleontólogo parte sólo de un montón de huesos polvorientos, y si el que podamos reconstruir algo ya es milagroso, lo será mucho más el vernos envueltos en discusiones detalladas e investigaciones sobre la evolución de la alimentación y la vegetación, la temperatura corporal, los niveles de actividad de los dinosaurios y muchos otros problemas.

DINOSAURIOS COMO TALES

Todo eso para una sola especie. Pero, como muestra este libro, los dinosaurios eran muy variados. ¿Es posible decir algo significativo sobre los dinosaurios en general? Se han afirmado muchas cosas sobre ellos en el pasado, especialmente en el debate sobre si eran endotérmicos o ectotérmicos. Para terminar este capítulo voy a tratar varios temas relacionados con los dinosaurios y su modo de vida, con referencia a dos tipos muy diferentes de dinosaurio.

Voy a comparar dos dinosaurios, el *Brachiosaurus* y el *Deinonychus,* porque representan dos extremos del diseño del dinosaurio. El primero es un monstruo herbívoro de 20 ó 30 toneladas; el segundo es un ágil depredador de unos 80 kilos. Si hay rasgos comunes, los descubriremos mediante la comparación, y así podríamos hacernos una idea de lo que realmente significa ser un dinosaurio. Pero si se demuestra que son inconciliablemente diferentes, puede resultar necesario adoptar un enfoque más flexible del concepto de dinosaurio.

La estructura de los dinosaurios

Es obvio que los diseños básicos del *Brachiosaurus* y el *Deinonychus* son totalmente distintos: uno es un pesado cuadrúpedo, el otro un bípedo de aspecto ligero. Pero a pesar de estas diferencias hay semejanzas de estructura, siendo la más importante las patas verticales que tienen todos los dinosaurios.

Las **patas** verticales pueden hacer dos cosas. En el caso del *Brachiosaurius* hacen de pilares que soportan el gran peso del cuerpo. Todas las patas se mantenían casi rectas durante la fase de transporte de peso de la zancada, por la sencilla razón de que el doblar las patas mientras estaban sosteniendo varias toneladas habría ejercido tantas presiones en los huesos de las patas que estos se habrían roto. Por esa misma razón los elefantes mantienen las patas muy rectas bajo sus cuerpos cuando caminan. Este tipo de animales se conoce con el nombre de *graviportes* («transporte pesado»).

Alternativamente, las patas pueden dar grandes zancadas y permitir que el animal se desplace muy deprisa —que sea *cursor* («conocedor»), nombre técnico dado a todos los animales rápidos. Tales criaturas tienden a ser ligeras para que sus patas puedan ser finas y no hagan únicamente de pilares. Las patas son mucho más libres de doblarse en la zancada para dar así mayor empuje. Estos son exactamente los tipos de adaptación vistos en el *Deinonychus.*

Los **pies** del *Brachiosaurus* son anchos y redondeados, con una superficie amplia donde puede distribuirse el peso del cuerpo; en comparación, los del *Deinonychus* son diminutos, y dos dedos finos de cada pie sostienen todo el peso. El hecho de que pueda llevar el peso de su cuerpo en sólo dos dedos le ha permitido especializar a uno de los otros dedos para usarlo como garra ofensiva en forma de hoz. La ligereza del pie también es fundamental para un corredor rápido. Todos los animales cursores tienen los pies pequeños: los caballos, por ejemplo, tienen un pie reducido a un solo dedo ungulado. Cuanto más ligero sea el pie, más deprisa se moverán las patas.

Sin embargo, hay similitudes subyacentes. Ambos animales tienen el tobillo distanciado del suelo: son digitígrados (caminan sobre los dedos), otro rasgo común entre los dinosaurios. Esto permite al cursor tener un pie más largo que puede aumentar la longitud de sus zancadas. En el animal graviporte el tobillo alto se apoya en un talón almohadillado, y el pie no tienen que doblarse y extenderse cuando el animal camina. Esto ahorra mucha energía muscular que de lo contrario se desperdiciaría.

La distribución del peso y el soporte pueden parecer muy diferentes en estos dos animales, pero de nuevo encontramos puntos comunes. El intestino macizo que necesita un herbívoro obliga al *Brachiosaurus* a ser cuadrúpedo, lo cual significa que el peso del animal está mejor distribuido entre las patas delanteras y traseras.

El lomo del *Brachiosaurus* es arqueado y está mantenido en tensión por unos ligamentos, como si fuera un puente, para sostener mejor la pesada zona del vientre. Aunque todo el peso del cuerpo del *Deinonychus* se apoya en las patas traseras, su lomo también es arqueado y está tensado por ligamentos y músculos; está claro que también sostenía la zona del vientre, además de proporcionar un pecho rígido que servía de punto de anclaje a los potentes músculos del hombro.

La **cola 7**es larga, delgada y distanciada del suelo en el *Deinonychus.* Hace de voladizo para balancear la mitad delantera del cuerpo sobre las caderas. También sirve de estabilizador dinámico que permite al animal desviarse rápidamente en su carrera. La cola del *Brachiosaurus* no tenía ninguna de estas funciones. En realidad, en términos de ingeniería, no tenía mucho valor. Sin embargo, el animal probablemente no habría conservado una cola tan grande si ésta le hubiera resultado inútil. Las huellas de estos animales indican que solían mantener la cola distanciada del suelo, y en vida seguramente la usaban para tres cosas importantes. Primero, proporciona un anclaje para los grandes músculos retractores que tiran de las patas hacia atrás. En segundo lugar, también sirve de voladizo, no para balancear el cuerpo en las caderas como en el *Deinonychus,* sino para contrapesar el larguísimo cuello. Este y la cola están conectados por largos tendones que recorren la parte superior de la columna vertebral. La cola también puede haber sido una parte del sistema de control de temperatura del animal.

El **cuello** es totalmente diferente en estos dinosaurios, aunque tiene en ambos casos casi el mismo número de huesos. El del *Deinonychus* es frágil, compacto y muy flexible, con muchas aristas donde se acoplaban los poderosos músculos del cuello, que eran importantes para que el animal pudiera torcer la cabeza cuando se alimentaba. En comparación, el cuello del *Brachiosaurus* es gigantesco —un solo hueso de este cuello es tan grande como todo el cuello del *Deinonychus.* No obstante, los huesos del cuello del *Brachiosaurus* tienen una forma increíblemente delicada, como puede apreciarse si examinamos uno minuciosamente. Cada hueso está muy bien

esculpido: está cubierto lateralmente por una red de bolsas, y su interior tiene forma de panal; los lados están recortados para dejar grandes espacios y las nervaduras que se ajustan a los lados son largas, delgadas y huecas. Por eso, aunque el cuello de este dinosaurio es espectacularmente largo, constituye una estructura muy ligera y móvil, ya que los huesos son ligeros y apanalados en su interior. Esta estructura tiene la mayor fuerza posible para su peso.

El **cuello** no habría sido rígido, sino que habría habido capas de músculo entre cada vértebra para que el cuello pudiera doblarse con gran precisión. Sin embargo, un sistema de control más remoto habría permitido mayores movimientos del cuello entero. Unos ligamentos elásticos tremendamente fuertes se extendían entre cada una de las espinas verticales de los huesos del cuello y de la columna, y habrían mantenido el cuello erguido sin ningún esfuerzo muscular. Otros tendones largos que recorrían el espinazo hasta el cuello habrían funcionado como el aguilón de una grúa para bajarlo y levantarlo. Debajo del cuello y a cada lado de éste pueden verse las largas y delgadas cintas de nervaduras óseas, a las que se habrían acoplado los poderosos músculos del cuello. Estos habrían servido para doblar el cuello de un lado a otro cuando el animal comía de las copas de los árboles.

Finalmente están las **cabezas.** Puesto que un animal es carnívoro y el otro herbívoro, es forzoso que haya diferencias en las mandíbulas. El *Deinonychus* tiene unos dientes afilados como cuchillas, mientras que el *Brachiosaurus* tiene unos dientes en forma de cuchara. Pero ambos cráneos tienen una estructura muy ligera, a pesar de que el del *Brachiosauurius* mide más de un metro de largo. Tienen grandes aberturas a los lados, combinando de nuevo ligereza y fuerza.

La fisiología de los dinosaurios

No hay duda de que es mucho más difícil ser preciso en relación con los trabajos sobre la anatomía blanda de los dinosaurios. Pero se pueden hacer algunas comparaciones.

Podemos estar seguros sobre algunas características de la circulación sanguínea del *Brachiosaurus.* Como se ha dicho anteriormente, por la altura de la cabeza puede deducirse que el corazón de este dinosaurio no sólo era de gran tamaño —para poder generar la presión necesaria para impulsar la sangre hasta el cerebro—, sino que estaba enteramente dividido para que la sangre a tan alta presión no pasara a los pulmones. Pero la diferencia de altura entre la cabeza y el corazón puede estudiarse más a fondo.

Todos los reptiles vivientes, cuando se encuentran en su postura natural, tienen la cabeza casi exactamente al mismo nivel que sus corazones. Eso encaja con el hecho de que sus corazones no pueden separar debidamente la sangre pulmonar de la sistémica. Sin embargo, el *Deinonychus* y la mayoría de los dinosaurios tienen unas cabezas elevadas en sus posturas reconstruidas. A consecuencia de ello, el *Brachiosaurus* y todos los demás dinosaurios, incluyendo al *Deinonychus,* tenían un corazón enteramente dividido. Esta eficiencia circulatoria perfeccionó su capacidad para mantener altos niveles de actividad, ya que la sangre que riega el cuerpo con mucha presión puede aportar más rápidamente el alimento y el oxígeno esencial a los músculos.

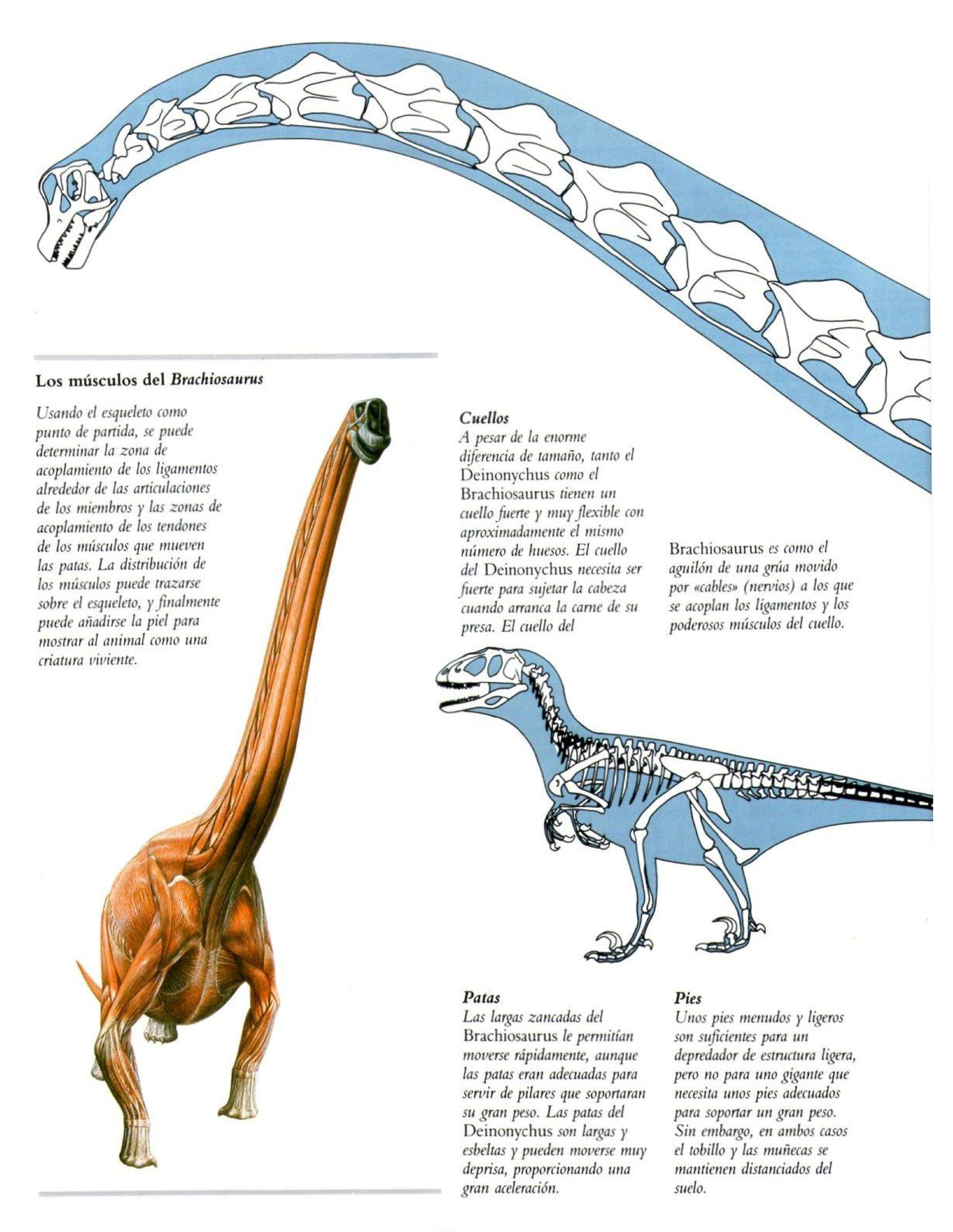
La respiración es otra función de los dinosaurios sobre la cual sólo pueden hacer suposiciones. Sin embargo, podemos recoger algunos indicios. Ya se han mencionado los grandes huecos en las vértebras del *Brachiosaurus.* Las costillas también tienen aberturas en su parte superior y huecos que atraviesan sus centros. Estas características eran esenciales porque reducían el peso del animal. Sin embargo, en los animales actuales queda demostrado que también tienen otra función. Las aves de hoy día tienen huecos en sus espinas dorsales y huesos con estructura de panal; estos están conectados con un amplio sistema de conductos aéreos que forman parte del sistema respiratorio. Se comunican con un mecanismo de bolsas de aire, que actúan como fuelles para bombear aire a través de los pulmones. También parece que eliminan el calor creado por los grandes y potentes músculos de vuelo.

Si las aberturas y los pasajes en el esqueleto del *Brachiosaurus* y de muchos otros dinosaurios saurisquios corresponden a los de las aves actuales, los dinosaurios no sólo habrían tenido un sistema respiratorio muy desarrollado (el de las aves es muy superior al de los mamíferos) y probablemente también altos niveles de actividad, sino que además puede que usaran este para deshacerse del calor del cuerpo, como veremos después.

El *Deinonychus* no tiene esas modificaciones en las costillas y en las vértebras, pero grandes terópodos como los tiranosaurios sí que las tienen, por tanto, probablemente es razonable suponer que también tenían un sistema respiratorio muy desarrollado. Este sería en todo caso un requisito previo para este veloz depredador.

El control de la temperatura es un tema que ya hemos tratado con bastante detalle anteriormente, por lo que no me extenderé mucho ahora. En este caso, la comparación se limita a aclarar las diferencias entre el *Brachiosaurus* y el *Deinonychus.*

Una temperatura interna estable —independientemente de cual sea la temperatura real— es muy deseable para cualquier animal. La invariabilidad de temperatura significa que la química interna del animal puede conservar de modo estable y eficiente bajo cualquier circunstancia. Todas las reacciones químicas del cuerpo están



Los músculos del *Brachiosaurus*

Usando el esqueleto como punto de partida, se puede determinar la zona de acoplamiento de los ligamentos alrededor de las articulaciones de los miembros y las zonas de acoplamiento de los tendones de los músculos que mueven las patas. La distribución de los músculos puede trazarse sobre el esqueleto, y finalmente puede añadirse la piel para mostrar al animal como una criatura viviente.

Cuellos
A pesar de la enorme diferencia de tamaño, tanto el Deinonychus *como el* Brachiosaurus *tienen un cuello fuerte y muy flexible con aproximadamente el mismo número de huesos. El cuello del* Deinonychus *necesita ser fuerte para sujetar la cabeza cuando arranca la carne de su presa. El cuello del* Brachiosaurus *es como el aguilón de una grúa movido por «cables» (nervios) a los que se acoplan los ligamentos y los poderosos músculos del cuello.*

Patas
Las largas zancadas del Brachiosaurus *le permitían moverse rápidamente, aunque las patas eran adecuadas para servir de pilares que soportaran su gran peso. Las patas del* Deinonychus *son largas y esbeltas y pueden moverse muy deprisa, proporcionando una gran aceleración.*

Pies
Unos pies menudos y ligeros son suficientes para un depredador de estructura ligera, pero no para uno gigante que necesita unos pies adecuados para soportar un gran peso. Sin embargo, en ambos casos el tobillo y las muñecas se mantienen distanciados del suelo.

Lomos
El lomo arqueado del Brachiosaurus *le permite soportar el peso de su enorme vientre. El lomo del* Deinonychus *también es arqueado, pero su fuerza es necesaria para soportar sus poderosos hombros.*

Los músculos del *Deinonychus*

El esqueleto pequeño y fuerte del Deinonychus *nos brinda una buena oportunidad para mostrar el proceso de reconstrucción del músculo en un dinosaurio. Empezando por los huesos, que pueden verse en la cola, pueden añadirse primero los ligamentos y los tendones, luego los músculos y finalmente la piel para darnos su imagen completa y aparentemente viva.*



Colas
La cola del Deinonychus *hace de estabilizador dinámico y de contrapeso, mientras que la del* Brachiosaurus *sujeta los músculos de las patas y los tendones del cuello y actúa como un radiador para evitar su recalentamiento.*

controladas por enzimas, y éstos son muy sensibles a la temperatura. No es una coincidencia el que los animales con mayor cerebro de hoy día —las aves y los mamíferos— tengan una temperatura corporal estable. El cerebro depende de una serie de reacciones, controladas por enzimas, increíblemente complejas, y una estructura tan sofisticada no podría haber evolucionado si las temperaturas de los cuerpos no se hubieran mantenido estables.

El *Brachiosaurus*, gracias a su enorme tamaño, y de aquí su gran proporción de volumen en comparación con su superficie, no habría sufrido cambios rápidos de temperatura. Tal como pudieron demostrar el profesor Colbert y sus colegas con los cocodrilos, cuanto mayor es el animal, más despacio cambia su temperatura corporal cuando varía la temperatura de su entorno.

Como estrategia de supervivencia, esto tiene varias ventajas, especialmente para un branquiosaurio. Puede generar calor corporal muy rápidamente mediante la actividad muscular, ya que el simple hecho de caminar requiere mucho trabajo muscular, y el calor producido se distribuye en el cuerpo con la sangre. A eso hay que añadir que estos animales transportan con ellos un enorme depósito de fermentación en sus intestinos que también genera calor, y por consiguiente es casi seguro que estos animales tenían calor.

De hecho, pudieron haber tenido problemas de exceso de calor más que de conservar el calor corporal (que es el modo tradicional de enfocar el debate sobre el control de temperatura). Actividades relativamente moderadas, como caminar durante un tiempo, habrían generado grandes cantidades de calor muscular excedente, haciendo que la temperatura corporal se elevara muy bruscamente. Una eliminación suficientemente rápida de ese calor les pudo haber planteado graves problemas. Hoy podemos encontrar el mismo problema en los elefantes, que utilizan sus enormes orejas como radiadores. Los braquiosaurios pudieron haber usado otras técnicas sobre las cuales tenemos pocos datos. Las bolsas de aire bien podrían haber sido utilizadas como depósitos de calor. El largo cuello cilíndrico y la cola también habrían hecho de superficies radiantes muy eficaces, sobre todo si la sangre podía canalizarse selectivamente, como en los reptiles actuales. Otra característica, no mencionada hasta ahora, que también pudo haber desempeñado un papel en el control de la temperatura se encuentra en la cabeza. Las ventanas de la nariz de estos dinusaurios son excepcionalmente grandes; es pura suposición, pero al menos es posible que una de las razones de que fueran tan grandes era permitir que la sangre se enfriara al pasar el aire por las delicadas membranas que había en su interior. Esto ciertamente nos da una explicación más lógica del tamaño de las ventanas de la nariz que cualquier otra que se me pueda ocurrir ahora.

El *Deinonychus*, de tamaño pequeño y aspecto larguirucho, no podía mantener estable la temperatura de su cuerpo del mismo modo que un braquiosaurio. Pero si consideramos los atributos biológicos generales de este terópodo resulta difícil creer que semejante animal pudiera desempeñar sus funciones sin temperaturas internas estables. El cerebro de este dinosaurio era grande si lo comparamos con los patrones de los reptiles, casi como el de algunas aves actuales. Los ojos eran grandes, de visión aguda; el oído estaba bien desarrollado; su sentido del equilibrio también debía de ser muy agudo, dado su estilo de vida como corredor bípedo y las tácticas ofensivas que este animal usaba para capturar y matar a

El Deinonychus, *tal como los vería su presa, revela la impresionante formación de dientes que se alinean en las mandíbulas, así como el campo de visión de los ojos, que les permitían enfocar muy claramente a sus presas. Dotados de tales especializaciones y de una velocidad implacable, eran unos de los dinosaurios depredadores más sofisticados.*



su presa. Si a esto sumamos la estructura cursora del esqueleto y la probabilidad de que tuviera un sistema un sistema circulatorio de alta presión, tenemos a un depredador inteligente, sofisticado, rápido y admirablemente equilibrado.

Todos estos atributos requieren un alto nivel de control central sobre las actividades de la criatura, lo cual implica una temperatura interna estable. Únicamente en esas condiciones podrían haberse desarrollado los sistemas de control necesarios para producir semejante animal. Por consiguiente, es previsible que hubiera desarrollado un sistema alternativo de control de temperatura basado en un metabolismo una cierta medida de endotermina, como la de los mamíferos y las aves.

La economía de los dinosaurios

El *Brachiosaurus* y el *Deinonychus* parece seguir normas totalmente diferentes para sobrevivir dentro de las limitaciones estructurales de su condición de dinosaurio.

Ser de gran tamaño tiene varias ventajas. La corpulencia proporciona seguridad; es muy improbable que un depredador haya sido capaz de capturar a un branquiosuario adulto. El tamaño grande implica una temperatura interna relativamente estable, sin necesidad de tener el metabolismo rápido asociado con la endotermia y el enorme coste energético que supone un sistema endotérmico. El tamaño grande produce una economía en el metabolismo, porque las necesidades energéticas de los animales grandes son, con relación a su peso corporal, menores que las de los animales pequeños. Los grandes herbívoros pueden sobrevivir con alimentos de calidad muy inferior a la de los pequeños.

La estrecha relación entre volumen y área de superficie también reduce el riesgo de deshidratación en condiciones de sequía.

Ser grande también implica costos. Tiene que producirse un enorme proceso de crecimiento hasta que el animal alcanza su tamaño natural. El movimiento también es muy costoso metabólicamente por el esfuerzo que supone mover 20 o más toneladas de carne. El desarrollo también tiene que suponer un tremendo esfuerzo tanto para el metabolismo como para los recursos locales de un animal que debe de haber nacido con un peso aproximado de 20 kilos y crecido hasta ser un adulto de 20 ó 30 toneladas. Por muy rápido que fuera su desarrollo, los jóvenes habrían atravesado un largo periodo de extrema vulnerabilidad ante los depredadores. Actualmente nadie sabe si los braquiosaurios alimentaban a sus crías para ayudarles a sobrevivir hasta la edad adulta o si les dejaban desenvolverse solas.

El tamaño pequeño implica varios factores de supervivencia, pero relativamente pocas economías. Un animal pequeño puede ser rápido y más sensible a los cambios locales. La estructura de un animal pequeño es menos exigente que la de uno grande, ya que hay menos riesgo de fallo mecánico. El desarrollo es también mucho más rápido, pues normalmente hay menos diferencia de tamaño entre los jóvenes y los adultos en una especie pequeña que en una grande. Los padres no necesitan esforzarse tanto en cuidar a sus crías. El ritmo de reproducción puede ser mucho más rápido en las especies pequeñas, y el hábitat puede sustentar a un mayor número de individuos.

El tamaño pequeño también tiene su precio. El peligro es mayor respecto a los depredadores, pues el cuerpo está más expuesto a los cambios del entorno; la pérdida de agua y el cambio de temperatura pueden afectar más a un animal pequeño que a uno grande. Los animales pequeños tienden a gastar menos energía que los grandes y necesitan más alimento en relación con su tamaño. Por lo tanto suelen ser mucho más selectivos con su alimento que los grandes, lo cual puede hacerles más vulnerables a los cambios del entorno, que apenas afectan a las especies grandes.

¿Resultó útil la comparación?

Parece que, efectivamente, hay varias características que hacen de los dinosaurios unos animales especiales. Tanto el *Brachiosaurus* como el *Deinonychus* tienen cuerpos que, desde un punto de vista mecánico, están admirablemente adaptados a su modo de vida. Además, su anatomía blanda parece haber tenido muchas características comunes, siendo las más importantes un sistema circulatorio de alta presión, un sistema respiratorio eficiente y unos sentidos y unos mecanismos de control muy desarrollados. Con toda evidencia ambas criaturas eran muy activas.

Sin embargo, el control crucial de la temperatura corporal puede haber sido resuelto de varios modos. Al braquiosaurio, con su enorme tamaño, no le costaba mucho mantenerse caliente. El deinonychosauro se veía obligado a usar otros métodos. Ya que al parecer desarrolló unos sistemas de control complejos y sofisticados, es evidente que tuvo que haber tenido un metabolismo rápido que habría proporcionado un suministro constante de calor desde el interior del cuerpo, además de un calor generado por la actividad muscular. Este sistema endotérmico es mucho más costoso, pero los gastos debían de estar compensados por beneficios tales como una mayor eficacia en la caza.

COMPRENDIENDOLOS

La historia de los dinosaurios parece ser la de un éxito espectacular en su dominio del mundo mesozoico, se-



Los dinosaurios pequeños como el Coelophyysis, *a causa de la gran extensión de su piel, son más sensibles a los cambios de temperatura.*

guido de un fracaso asombroso en su extinción a finales del Cretácico, quedando sólo sus descendientes directos, las aves. Hemos estudiado su historia y cómo fueron descubiertos. ¿Qué conclusiones podemos sacar de ello y cómo podemos comprender al grupo como un conjunto? No se me ocurre otro modo mejor de hacerlo que mediante un rápido repaso al periodo de los dinosaurios, con sus comienzos a finales del Triásico, su dominio y su desaparición hace 66 millones de años.

Orígenes

Por lo que sabemos, los dinosaurios aparecieron en una época a finales del Triásico. Desgraciadamente, tenemos muy pocas posibilidades de encontrar el primer dinosaurio, o de reconocerlo en caso de que lo encontráramos. Por qué aparecieron en aquella época en particular ha sido y sigue siendo un apasionado tema de discusión.

Los restos más antiguos de esqueletos de dinosaurios que se conocen son de carnívoros bípedos muy ágiles de tamaño entre pequeño y mediano. Se caracterizan por la estructura de sus patas y caderas, que muestran las disposiciones mecánicas para una postura totalmente vertical. Se conocen huellas que datan de mediados del Triásico que caminaban como se supone que lo hacían los dinosaurios, por lo tanto es posible que existieran en épocas anteriores. En el momento de su primera aparición, los dinosaurios eran, desde un punto de vista puramente mecánico, unos reptiles bastante desarrollados comparados con la mayoría de los que vivieron en el período Triásico. Sus miembros funcionaban de manera tal que o bien les permitían desplazarse rápidamente, o bien transportar eficazmente un gran peso corporal. Los dinosaurios de todas las comunidades terrestres tradujeron rápidamente esta capacidad en dominio. Se ha discutido mucho sobre el modo exacto en que consiguieron este dominio.

Entre las muchas teorías actuales, mi preferida es una que permita creer que los dinosaurios prosperaron simplemente porque eran reptiles, y está relacionada con las condiciones ambientales que pudieron haber predominado a finales del Triásico. Es probable que las condiciones climáticas a finales del Triásico fueran mucho más cálidas que las de ahora. Seguramente las regiones polares no estaban cubiertas de hielo, y muchas zonas del mundo parecen haber sido entonces áridas. Si éstas eran las condiciones, bien pudieron haber favorecido a los reptiles. Estos fueron uno de los primeros grupos de habitantes del planeta que resolvieron dos de los tres principales problemas que plantea la vida terrestre: sostener el cuerpo en contra de los efectos de la gravedad; evitar la pérdida de agua en el aire; y proteger el cuerpo de los cambios bruscos de la temperatura del aire. Esto es un artificial planteamiento de problemas, ya que estos están inspirados por nuestra percepción o preconcepción. No

obstante, si los examinamos tal vez podemos aclarar algunos puntos.

Para resolver el primer problema, los reptiles desarrollaron unos esqueletos bien concebidos para sostener sobre la tierra. El segundo lo solucionaron desarrollando una piel gruesa y escamosa que reducía la pérdida de agua a través de la piel y unos métodos reducir al mínimo las pérdidas de agua en la orina excretando una pasta compuesta de sales de ácido úrico. El tercer problema nunca fue satisfactoriamente resuelto por los reptiles, pero sí eventualmente por los mamíferos y las aves mediante el desarrollo de la endotermia, combinada con el aislamiento, para controlar la velocidad de pérdida de calor.

Dada esta serie de atributos, el final del Triásico bien pudo haber sido una época altamente propicia para los reptiles en general. Si el mundo era predominantemente cálida, seco y soleado, las condiciones habrían sido idóneas para los reptiles, pero sí eventualmente por los mamíferos y las aves mediante el desarrollo de la endotermia, combinada con el aislamiento, para controlar la velocidad de pérdida de calor.

Dada esta serie de atributos, el final del Triásico bien pudo haber sido una época altamente propicia para los reptiles en general. Si el mundo era predominantemente cálido, seco y soleado, las condiciones habrían sido idóneas para los animales que contaban con el calor externo para mantener la temperatura de sus cuerpos, podían minimizar la pérdida de agua en condiciones áridas y vivir con un alimento escaso o desigual. Los mamíferos endotérmicos que aparecieron en la misma época comparten una serie de atributos menos adecuados para las condiciones de entonces. La endotermia puede ser muy ventajosa en determinadas circunstancias, pero resulta bastante costosa: requiere un gran consumo de alimento como combustible para generar calor interno y de grandes cantidades de agua que se liberan con el jadeo y el sudor para que el animal se mantenga fresco, por lo tanto es menos eficaz en condiciones calurosas. Casi todo lo que sabemos sobre el medio ambiente del final del Triásico parece poner a los mamíferos en desventaja y favorecer el estándar de reptil ectotérmico.

Teniendo esto en cuenta podemos suponer que las condiciones del final del Triásico y más tarde del Mesozoico convenían más a los reptiles que a los mamíferos. Aún queda por demostrar el hecho de que los dinosaurios llegaran a dominar a los demás por ser los afortunados supervivientes de algún tipo de catástrofe medioambiental, pero el que mantuvieran su dominio posteriormente se debe probablemente al clima reinante. Indudablemente, a eso también se sumaba el hecho de que, entre los reptiles, los dinosaurios combinaban una perfección mecánica para la vida en la tierra con algunas innovaciones fisiológicas claves que les permitían ser extraordinariamente activos; entre las más notables destacan la circulación sanguínea de alta presión suministrada por su corazón totalmente dividido, y sus pulmones muy desarrollados. Estas características en particular les permitían no sólo ser activos, sino también mantener sus niveles de actividad durante mucho más tiempo que los modernos reptiles.

Dominio

A finales del Triásico los dinosaurios eran tan numerosos que sus restos se han encontrado en abundancia en distintas partes del mundo, indicando el rápido ascenso de su dominio sobre la vida en la tierra. Hubo un aumento tanto en la cantidad como en la variedad, que incluía a pequeños y grandes carnívoros y a numerosos hervíboros de todos los tamaños, mostrando una enorme variedad de adaptaciones a su dieta vegetal. Pasado el final del Triásico, parece que predominaron unas condiciones muy cálidas, benignas, prácticamente sin estaciones, y que aumentó la disponibilidad de agua; esto causaría un enriquecimiento de la vida vegetal y de los dinosaurios para alimentarse de la vegetación.

Los dinosaurios no sólo variaron anatómicamente, también parece que desarrollaron una variedad de modelos de comportamiento muy sofisticados que raramente se ven en los reptiles actuales. Algunos se convirtieron en depredadores expertos capaces de perseguir y matar a su presa con tanta facilidad como los grandes felinos de hoy día. Otros vivían en manadas y desarrollaron un comportamiento social cooperativo que parece ser muy similar al de las manadas de mamíferos actuales. El emplazamiento de los nidos sugiere una crianza colonial y un cuidado especial de las crías en algunas especies, además de una posible emigración masiva transcontinental equivalente a la de los renos actuales.

La gran actividad y el comportamiento sofisticado de los dinosaurios se han interpretado como una prueba evidente de que eran endotérmicos como los mamíferos y las aves modernos. Sin embargo, esto dista mucho de ser convincente si se aplica a la mayoría de los dinosaurios. El clima reinante, cálido y sin estaciones, unido a los aspectos únicos de la fisiología de los dinosaurios, permitía a la mayoría combinar las economías de un metabolismo ectotérmico, suministrados de una temperatura interna estable y cálida que permitía el desarrollo de unos sistemas de control complejos, con los sistemas circulatorio y respiratorio que permitían una actividad física enérgica.

Los únicos grupos que no se adaptan a este modelo son los dinosaurios pequeños y muy activos, ilustrados por el *Deinonychus.* Este tipo de dinosaurios bien pudo haber sido endotérmico hasta cierto punto, aumentando la temperatura de su cuerpo con la generación del calor

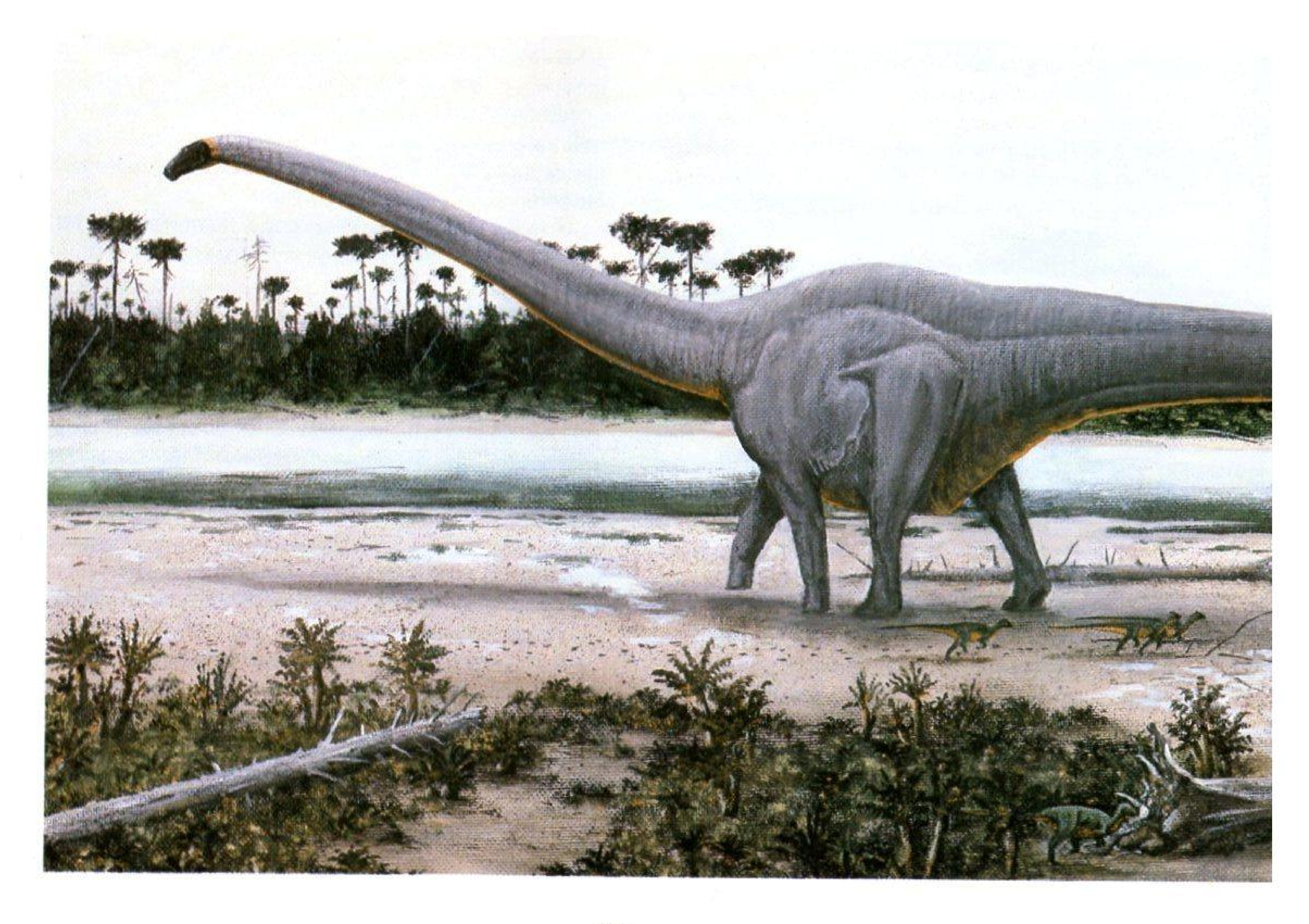
interno de un modo similar al de los mamíferos y las aves actuales, aunque posiblemente nunca podremos saber la medida exacta del parecido entre esta versión de endotermia y la de los mamíferos y las aves actuales. Sabemos que las aves endotérmicas probablemente descienden de unos pequeños dinosaurios carnívoros estrechamente relacionados con el *Deinonychus,* y esto corrobora la posibilidad de que algunos dinosaurios pequeños fueran endotérmicas.

Parece que en el Mesozoico los dinosaurios generaron no solo una gran diversidad de tipos anatómicos, sino también de tipos fisiológicos.

Extinción

El hecho de que se extinguieran los dinosaurios podría sugerir que tenían algún «talón de Aquiles» que les llevó a su desaparición. Hay argumentos más realistas que sugieren la aparición de algún tipo de perturbación hace 66 millones de años. Las preguntas esenciales son: ¿Con qué velocidad ocurrió la catástrofe? Formaron parte los dinosaurios de una amplia gama de víctimas casuales, o murieron selectivamente? Sospecho que la mayoría de los dinosaurios murieron selectivamente a causa del deterioro del entorno. Se piensa que las temperaturas globales bajaron notablemente a finales del periodo Cretácico y que las estaciones se hicieron mucho más diferenciadas.

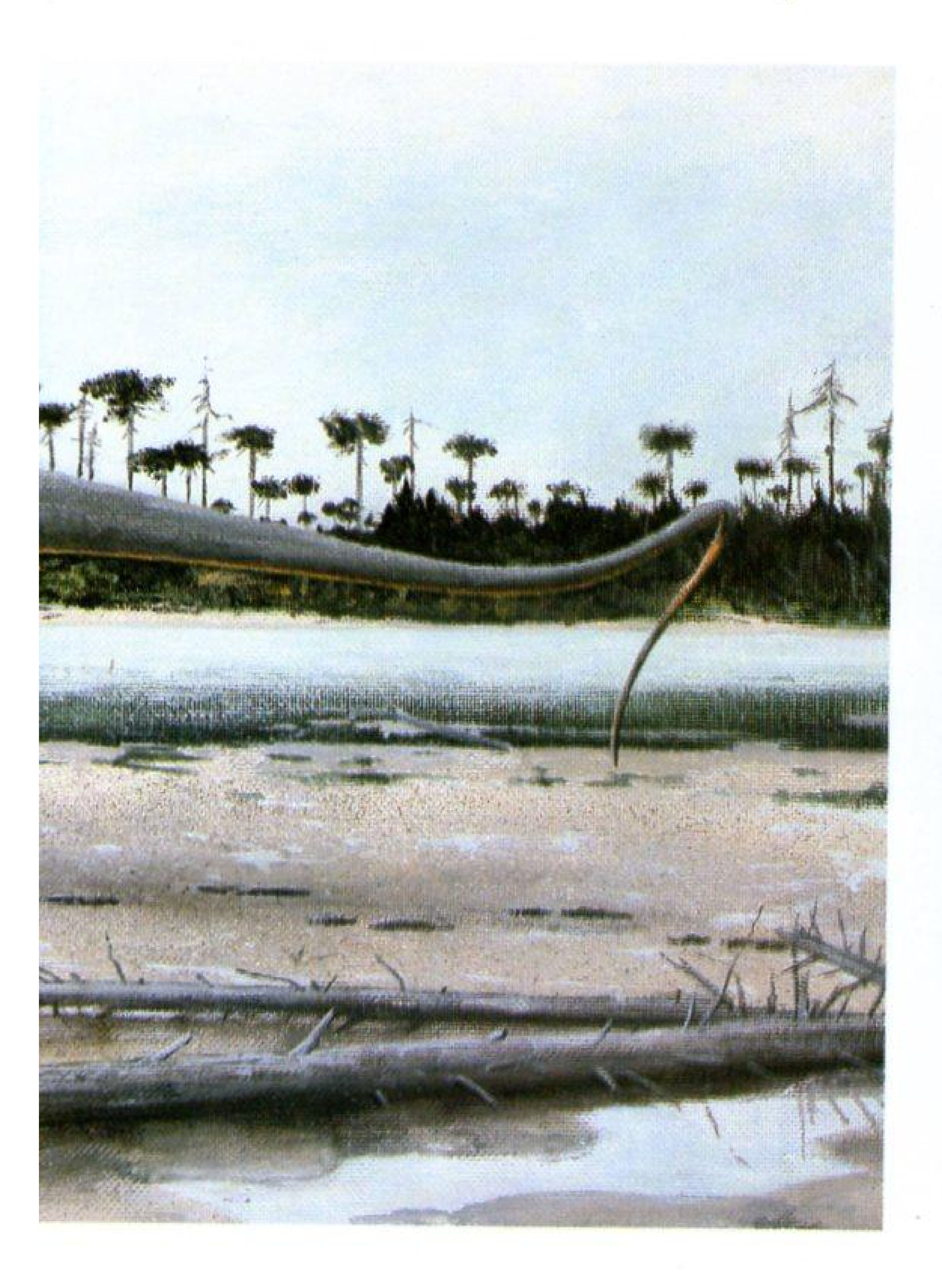
La desventaja más evidente de la biología del dinosaurio era que en el fondo se basaba en unas condiciones climáticas siempre benignas. El trabajo de paleontólogos con Leigh van Valen y Robert Sloan parece mostrar que hubo una disminución gradual en la cantidad y la variedad de dinosaurios entre los 7 y los 10 últimos millones de años del periodo Cretácico, y que esto coincide con un aumento lento pero progresivo en el número y variedad de mamíferos. Esto concordaría bastante bien con la idea de que los dinosaurios se extinguieron a causa de un empeoramiento climático progresivo. Podría ser cierto incluso si hubiera habido una



La enorme variedad de tamaño de los dinosaurios, desde los gigantes de casi 40 metros de largo que pesaban decenas de toneladas, como el Seismosaurus, *hasta las miniaturas que pesaban escasos kilos, hace que los dinosaurios no puedan encajar en un estereotipo concreto.*

lluvia de meteoritos o grandes erupciones volcánicas a finales de ese periodo.

Los grandes ectotermos prosperaban en el Mesozoico siempre que el tiempo fuera cálido y agradable la mayor parte del tiempo. Las temperaturas medias de las antiguas épocas pueden descubrirse examinando las proporciones de diferentes isótopos de oxígeno en los sedimentos de los fondos marinos, que nos indican la actividad biológica de la época del sedimento. Estos estudios indican que las temperaturas medias anuales en la primera época de finales del Cretácico eran aproximadamente de unos 18-20 °C. Los periodos frescos prolongados o las condiciones frías habrían provocado un cambio de temperatura corporal del cual los grandes ectotermos habrían tenido pocas probabilidades de recuperarse. Cuando se tiene la piel al descubierto, como todos los reptiles parecen haber tenido a juzgar por las huellas de piel que se conocen, el calor corporal se pierde bastante deprisa con el aire frío. Una vez enfriados, incluso tomar el sol no servía de mucho a los grandes dinosaurios, ya que eran demasiado grandes para calentarse rápidamente. Cuanto mayor es un reptil, más difícil le resulta emplear el baño de sol como medio de control de temperatura.



Un hecho que no se menciona muy a menudo en el trabajo de Colbert, Cowles y Bogert sobre el control de la temperatura corporal en los caimanes grandes y pequeño (página 80) es que varios caimanes grandes con los que experimentaron murieron a causa de las quemaduras producidas por una exposición prolongada al sol. En lugar de pasar el calor absorbido directamente a la sangre, su piel empezó a cocerse.

El dinosaurio endotermo de pequeño tamaño tiene problemas parecidos a los del ectotermo de gran tamaño, porque carece de capa aislante de pelos o plumas. Estos dinosaurios podían generar calor interno, pero habrían sido incapaces de controlar la velocidad de su pérdida de calor a través de la piel. Por eso, aunque podían soportar cambios de temperatura locales y a corto plazo, el empeoramiento climático global les habría afectado gravemente.

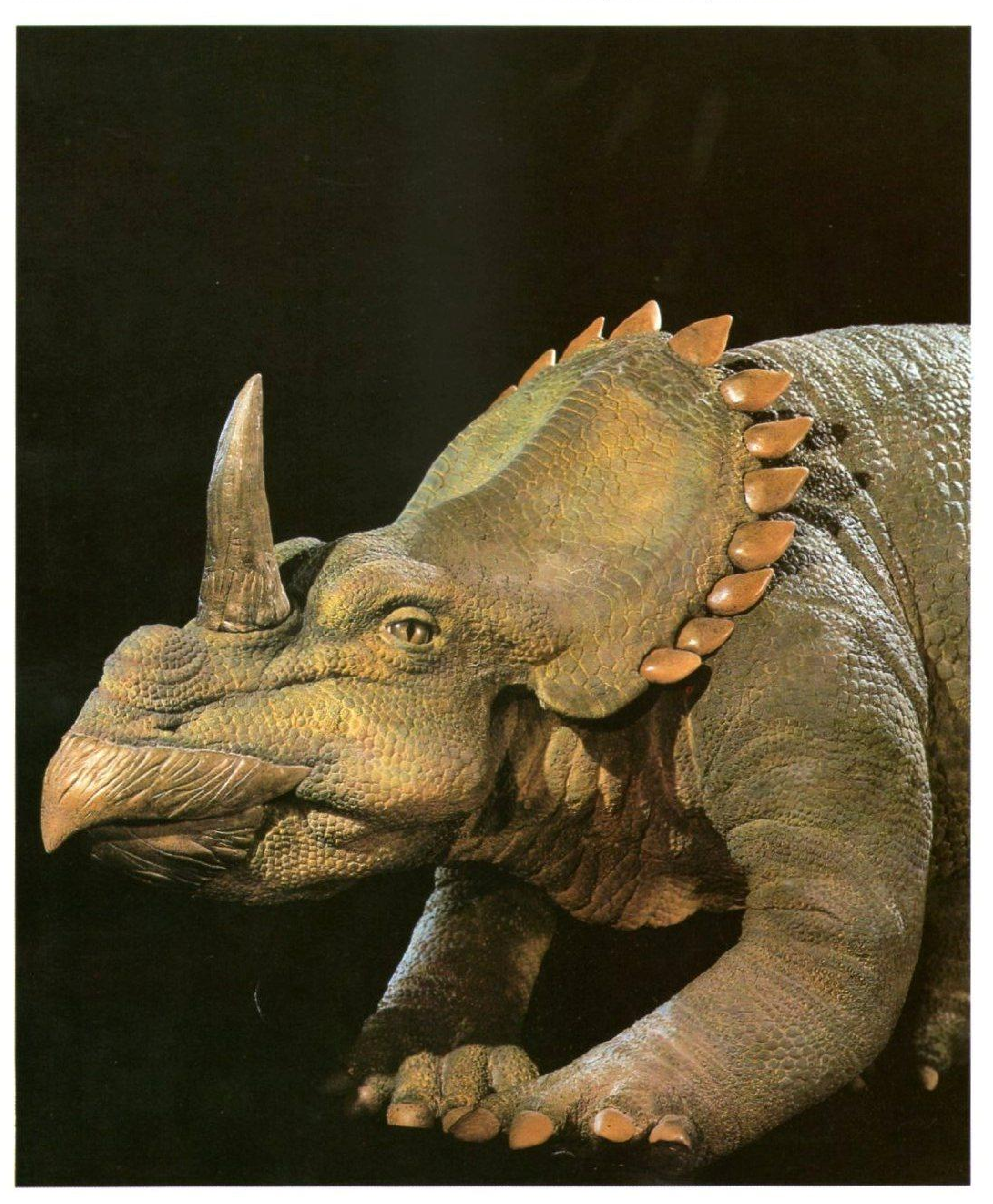
Si, como se ha dicho, las aves evolucionaron a partir de los pequeños dinosaurios carnívoros con algún tipo de metabolismo endotérmico, su supervivencia durante el periodo de extinción hace 66 millones de años puede estar relacionada con el desarrollo de las plumas; éstas no sólo les permiten volar, sino que también aíslan sus cuerpos para que no pierdan calor.

Al examinar la extinción desde el punto de vista de los supervivientes, los principales beneficiarios parecen haber sido los animales endotérmicos y bien aislados: las aves y los mamíferos. También sobrevivieron una variedad de pequeños anfibios, pequeños reptiles parecidos a los lagartos, y las tortugas, que pueden sobrevivir fácilmente en periodos fríos hibernando en grietas o madrigueras (lo cual es imposible para un dinosaurio de 20 toneladas), o vivir en un entorno cuya temperatura es relativamente estable. Por ejemplo los cocodrilos de agua dulce pueden haber sobrevivido simplemente porque vivían dentro y cerca del agua, que tiene una gran capacidad de calor específico y les habría protegido de los cambios de temperatura en el aire.

Por lo tanto, los dinosaurios prosperaron al principio porque eran reptiles y podían vivir económicamente en condiciones climáticas cálidas y secas, y sin embargo al mismo tiempo habían desarrollado un corazón y unos pulmones que les permitían ser muy activos. Su éxito estuvo asegurado durante el Mesozoico porque aquel periodo favorecía a los animales que se habían adaptado a un clima generalmente cálido, no estacional. Estas condiciones permitieron la evolución no sólo de los enormes saurópodos que se mantenían calientes gracias a su tamaño, sino también de los dinosaurios pequeños que tenían un mecanismo suplementario, aunque éste no era lo bastante eficaz como para soportar un frío prolongado. Las condiciones climáticas de finales del Mesozoico se volvieron más frías y más variables, inadecuadas para unos animales que necesitaban una temperatura corpo-

ral estable pero carecían de un aislamiento eficaz. Estas condiciones más variables eran adecuadas para los mamíferos y los pájaros que combinaban la endotermia con el aislamiento y evolucionaron rápidamente después del final del Mesozoico.

En resumen, los dinosaurios fueron la mejor solución que la naturaleza podía proponer para la combinación de condiciones existentes en la Tierra durante el Mesozoico. Los dinosaurios fueron idóneos para su época, pero, como siempre, los tiempos cambian.



ÍNDICE